

# Multiskalierbare Funktionenmodellierung in der Industrieplanung

Zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktors der Ingenieurwissenschaften

von der KIT-Fakultät für Architektur des

Karlsruher Instituts für Technologie

genehmigte

DISSERTATION

*von*

*Dipl.-Ing. Milan Marinov*

aus:	Veliko Tarnovo, Bulgarien
Tag der mündlichen Prüfung:	01.07.2020
Hauptreferent:	Prof. Dr.-Ing. Petra von Both
Korreferent:	Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Albert Albers

Milan Marinov

Multiskalierbare Funktionenmodellierung in der Industrieplanung

Multiskalierbare Funktionenmodellierung in der Industrieplanung

*Ein Beitrag zur integrierten Funktionenanalyse- und Synthese der nutzungs- und produkttechnologischen Aspekten von Industriebauwerken am Beispiel einer Einrichtung der Außer-Haus-Wirtschaft*

von

Milan Marinov

KIT – Universität des Landes Baden-Württemberg und  
nationales Forschungszentrum in der Helmholtz-Gemeinschaft



Diese Veröffentlichung ist im Internet unter folgender Creative Commons-Lizenz publiziert: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.de>

# Kurzfassung

Die Entwicklung innovativer, komplexer Produkte – Bauwerke, Maschinen, Software – wird durch immer kürzer werdende Entwicklungs- und Produktlebenszyklen, und immer höhere Erwartungen der Nutzer bezüglich Leistung, Funktionsumfang, Qualität und Kosten gekennzeichnet. Eine besondere Herausforderung stellen komplexe Industriebauwerke, bei denen Synergien zwischen Bautechnik und Mechatronik eine wichtige Rolle spielen.

Der funktionale Zugang zum bautechnischen und mechatronischen Entwurf kann ein wichtiges Bindeglied für die Konzeptplanung darstellen. Fehlende Kenntnisse über die funktionalen Abhängigkeiten der Teilsysteme, sowie fehlende integrierte Modelle für die Nutzungs- und Produktfunktionen führen zu vergessenen oder nicht berücksichtigten, aber notwendigen Planungsaspekten im Bauwesen, die erst in späteren Produktlebensphasen entdeckt werden, und höhere Kosten sowie längere Entwicklungszeiten nach sich ziehen. Ein weiteres Problem stellen versäumte Optimierungsmöglichkeiten wegen mangelnder Überschaubarkeit des Lösungsraumes dar.

In dieser Arbeit werden ein integriertes Informationsmodell und die dazugehörige Notation für Nutzungs- und Produktfunktionen, sowie ein systematisches Vorgehen zur multiskalierbaren Funktionenmodellierung in der Industrieplanung entwickelt. Dadurch wird die konzeptuelle Grundlage geschaffen, um eine funktionale Vernetzung der interdisziplinären Teilsysteme informationstechnisch abbilden und IT-basiert verarbeiten zu können. Auf diesem Konzept aufbauend können Softwaresysteme entwickelt werden, mit deren Hilfe der Lösungsraum rechnergestützt untersucht werden kann, um eine optimale Lösung mithilfe sämtlicher funktional verknüpften Informationen zu finden.

Am Beispiel der Planung einer Einrichtung der Außer-Haus-Wirtschaft wird das Konzept zur Funktionenmodellierung in der Industrieplanung verifiziert. Dabei wird nachgewiesen, dass relevante funktionale Aspekte bautechnischer und mechatronischer Systeme informationstechnisch korrekt abgebildet und zur systematischen, rechnergestützten Bearbeitung verwendet werden können.



# Abstract

The hallmarks of the development of innovative and complex products such as buildings, machines and software are shorter development cycles and product lifecycles, as well as higher expectations of the customers regarding performance, functionality, quality and costs. Complex industry buildings, where synergies between building technology and mechatronics play an essential role, represent a major challenge.

The function oriented approach to building and mechatronics design can be an important link for the conceptual planning. However, missing knowledge about the functional dependencies between sub-systems, as well as missing integrated models for usage functions and product functions lead to forgotten planning aspects, which are only discovered at later stages in the product lifecycle, and cause higher cost as well as prolonged development time. Other challenges are posed by missed optimization opportunities due the complications of an unmanageable solution space.

An integrated information model and the corresponding notation for usage and product functions, as well as a systematic approach for multi-scalable functional modelling in industrial planning are developed in this thesis. This creates the conceptual basis for the computational representation and IT-based processing of the functional interdependencies of the interdisciplinary sub-systems. Software systems for automated exploration of the solution space can be developed based on this concept, so that an optimal solution can be found.

The concept for multi-scalable functional modelling in industrial planning is verified using an example from the dining industry. In the process it is demonstrated, that relevant functional aspects of buildings and mechatronic systems can be represented correctly and can be used for the systematic, computer-based processing.



# Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung.....	v
Abstract .....	vii
Inhaltsverzeichnis.....	ix
Abbildungsverzeichnis.....	xiv
Tabellenverzeichnis .....	xx
Abkürzungsverzeichnis .....	xxi
Vorwort .....	xxiii
1 Einleitung.....	1
1.1 Motivation.....	1
1.1.1 Funktionenmodellierung im Kontext der Entwicklungsmethodik der Mechatronik.....	2
1.1.2 Funktionenmodellierung im Kontext der Entwicklungsmethodik der Architektur .....	4
1.1.3 Problemstellung .....	6
1.2 Zielsetzung.....	12
1.3 Nutzen .....	16
2 Grundlagen.....	19
2.1 Entwicklungsmethodiken.....	19
2.1.1 Systems Engineering .....	19
2.1.2 Systemisches Projektmodell für eine kooperative Planung komplexer Unikate (SyProM).....	23
2.1.3 Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte .....	30
2.1.4 Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme .....	32
2.1.5 Problemlösungsmethodik SPALTEN .....	36
2.2 Funktionenmodellierungskonzepte .....	40
2.2.1 Funktionsanalyse .....	40
2.2.2 Multilevel Flow Modeling .....	45
2.2.3 Funktionenmodellierung mechatronischer Systeme.....	47
2.2.4 Die Funktionenbasis zur Entwicklung technischer Produkte .....	52
2.2.5 Funktionenmodellierung in der Architektur.....	53
2.3 Ergebnisse der Analyse.....	69

3	Lösungsansatz und weiterführende Anforderungen .....	73
3.1	Lösungsansatz .....	73
3.2	Anforderungen an den Lösungsansatz.....	75
3.3	Weiterführende Anforderungen an den Lösungsansatz.....	77
4	Konzept zur multiskalierbaren Funktionenmodellierung in der Industrieplanung.....	79
4.1	Einordnung des systematischen Vorgehens zur Funktionenmodellierung im Planungsprozess.....	79
4.2	Systematisches Vorgehen zur multiskalierbaren Funktionenmodellierung.....	80
4.3	Entwurfsgegenstand der multiskalierbaren Funktionenmodellierung .....	86
4.4	Nutzungsfunktionen.....	92
4.4.1	Konzept der Nutzungsfunktionen.....	92
4.4.2	Eigenschaften der Nutzungsfunktionen .....	94
4.4.3	Graphische Notation.....	95
4.5	Nutzer .....	97
4.6	Funktionenobjekte.....	98
4.6.1	Formale Bezeichnungen von Funktionenobjekten .....	99
4.6.2	Graphische Notation.....	99
4.7	Funktionenkontextobjekte .....	101
4.7.1	Zeitkontext.....	102
4.7.2	Forderungen.....	104
4.7.3	Wirkungen.....	106
4.8	Produktfunktionen .....	108
4.8.1	Eigenschaften der Produktfunktionen .....	108
4.8.2	Notation der Produktfunktionen.....	109
4.8.3	Übersichtsdarstellung der Produktfunktionen.....	109
4.8.4	Detaildarstellung der Produktfunktionen .....	110
4.8.5	Benutzerdefinierte Darstellung der Produktfunktionen .....	110
4.9	Beziehungen der Entwurfsobjekte .....	110
4.9.1	Nutzerbeziehung .....	111
4.9.2	Austauschbeziehung .....	112
4.9.3	Steuerungsbeziehung .....	113
4.9.4	Kontextbeziehung .....	113
4.9.5	Realisierungsbeziehung.....	114
4.9.6	Hierarchische Beziehung.....	116
4.9.7	Teleologische Beziehung.....	117

4.10	Nutzungsfunktionenstruktur	und
	Nutzungsfunktionenstruktursichten.....	118
4.10.1	Der Funktionenbaum – die hierarchische	
	Nutzungsfunktionenstruktursicht.....	118
4.10.2	Der Funktionengraph – die zweckorientierte	
	Nutzungsfunktionenstruktursicht.....	119
4.10.3	Das Funktionennetz – die Nutzungsfunktionenflussstruktursicht	123
4.11	Struktur der abstrakten Funktionenbereiche.....	132
4.12	Informationsmodell zur Funktionenmodellierung architektonischer	
	Systeme.....	136
4.12.1	Informationsmodell der hierarchischen	
	Nutzungsfunktionenstruktursicht.....	137
4.12.2	Informationsmodell der teleologischen Nutzungsfunktionenstruktur	
	.....	138
4.12.3	Informationsmodell der Nutzungsfunktionenflussstruktursicht	139
4.12.4	Informationsmodell der Struktur der abstrakten Funktionenbereiche	
	.....	142
4.12.5	Eigenschaften der Entwurfsobjekte .....	144
5	Konzeptverifikation .....	153
5.1	Erfassen der funktionalen Aufgabenstellung.....	154
5.1.1	Prozesse in einer Großküche.....	155
5.1.2	Prozess der Nahrungsmittelvorbereitung .....	155
5.1.3	Prozess der Speisenzubereitung.....	157
5.1.4	Traditionelle und moderne Trends in der Großküchenplanung...	161
5.2	Ermittlung und Benennung der Nutzungsfunktionen.....	162
5.3	Erarbeiten einer hierarchischen Nutzungsfunktionenstruktur ....	163
5.4	Erarbeiten von Taxonomien .....	166
5.4.1	Taxonomie der Nutzungsfunktionen in der Vor- und Zubereitung	167
5.5	Erarbeiten teleologischer Nutzungsfunktionenstruktursichten ...	170
5.6	Entwicklung von Varianten ausgehend von der	
	Nutzungsfunktionenstruktur und der Struktur der abstrakten	
	Funktionenbereiche.....	174
5.6.1	Erste Konzeptvariante: Konventionell – Gastbereich mit Service	174
5.6.2	Erste Variante der Vorbereitungsfunktionen: klassische,	
	„französische“ Vorbereitung.....	181
5.6.3	Zweite Konzeptvariante: Selbstbedienung mit Free-Flow .....	187
5.6.4	Zweite Variante der Vorbereitungsfunktionen: Meistverbreitete	
	Zuordnung der Funktionen.....	192
5.6.5	Evaluierung der Varianten der Vorbereitungsfunktionen.....	193

5.7	Entwicklung von Varianten ausgehend von den Nutzungs- und Produktfunktionenstrukturen, und von der Struktur der abstrakten Funktionenbereiche .....	194
5.7.1	Erste Variante .....	195
5.7.2	Zweite Variante .....	202
5.7.3	Dritte Variante.....	207
5.7.4	Vierte Variante .....	215
5.7.5	Evaluierung der Varianten.....	230
5.8	Schlussfolgerung.....	231
5.9	Visio Toolbox zur multiskalierbaren Funktionenmodellierung.....	232
6	Zusammenfassung und Ausblick.....	235
6.1	Zusammenfassung .....	235
6.2	Ausblick.....	237
6.2.1	Entwicklung einer funktionsorientierten Mustersprache.....	237
6.2.2	Die Funktion der Form – Einbeziehung weiterer Funktionenarten	238
6.2.3	Entwicklung eines Softwaretools zur Funktionenmodellierung ...	239
6.2.4	Entwicklung von Konzepten zur Nutzungsfunktionsmodellierung in der Mechatronik.....	239
	Literaturverzeichnis.....	241
	Anhang A: Taxonomie für spezielle Funktionenverben .....	247
	Anhang B: Taxonomie für spezielle Funktionenobjekte .....	248
	Anhang C: Beispiele für Funktionengruppierungen .....	249
	Anhang D: Katalog der geforderten Produktfunktionenmuster für ausgewählte Nutzungsfunktionen.....	251
	Backen 251	
	Dämpfen.....	252
	Kochen 252	
	Braten 252	
	Schmoren.....	253
	Anhang E: Funktionen- und Komponentenhierarchien der Autobahn-Raststätte „2000“ .....	254
	Funktionenhierarchie des gastorientierten Bereichs der Autobahnraststätte (ausgewählte Funktionen).....	254
	Funktionenhierarchie des personalorientierten Bereichs der Autobahnraststätte (ausgewählte Funktionen) .....	256
	Funktionenbereiche des gastorientierten Bereichs der Autobahnraststätte 2000.....	257

Funktionbereiche des personalorientierten Bereichs der Autobahnraststätte 2000 .....	259
---	-----

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:Lebenszyklusorientiertes Vorgehensmodell aus (VON BOTH, 2006, S. 293).....	24
Abbildung 2: Arbeitsschritte der Konzeptplanung aus (von Both, 2006, S. 296)..	25
Abbildung 3: Funktionsanalyse – morphologischer Kasten, übernommen aus (von Both, 2006, S. 296) .....	27
Abbildung 4: SyProM-Vorgehensmodell, übernommen aus (von Both, 2006, S. 299) .....	28
Abbildung 5: Konkretisierung des Objektes auf zwei Ebenen: räumlich und elementbezogen, aus (von Both, 2006, S. 302) .....	29
Abbildung 6: Generelles Vorgehen und Arbeitsschritte nach VDI 2221 und VDI 2222, übernommen aus (VDI2221, 1993, S. 9) .....	31
Abbildung 7: V-Modell als Makrozyklus beim Entwurf mechatronischer Produkte, übernommen aus (VDI2206, 2004, S. 29) .....	33
Abbildung 8: Durchlaufen mehrerer Makrozyklen beim Entwurf mechatronischer Produkte mit zunehmender Produktreife, übernommen aus (VDI2206, 2004)....	35
Abbildung 9: Die Problemlösungsmethodik SPALTEN, übernommen aus (ALBERS, REIB, BURSAC, & BREITSCHUH, 2016), (ALBERS, BURKARDT, & SAAK, GEZIELTE PROBLEMLÖSUNG BEI DER PRODUKTENTWICKLUNG MIT HILFE DER SPALTEN-METHODE, 2002) .....	38
Abbildung 10: Ein generisches FAST-Diagramm, übernommen aus (VDI2803, 1996, S. 7).....	44
Abbildung 11: Mittel-Zweck (teleologische) und Teile-Ganzes (hierarchische) Achsen des MFM, übernommen aus (Lind, 2016, S. 2) .....	46
Abbildung 12: Tätigkeitsdiagramm einer Sporthalle, aus (Schönfeld, 1992, S. 17)59	
Abbildung 13: Darstellung der Entwurfsobjekte, aus (Baumann, 1990, S. 56).....	61
Abbildung 14: Funktion als Mittler zwischen Form und Konstruktion des Bauwerks, aus (Steinmann, 1997) .....	62
Abbildung 15: Beziehungsmatrix mit Prioritäten in ALBERTI, aus (Moelle, 2006, S. 292).....	64
Abbildung 16: Bearbeitung des Grundrisses in ALBERTI, aus (Moelle, 2006, S. 294) .....	64
Abbildung 17: Bubble-Diagramm-View von ALBERTI, aus (Moelle, 2006).....	65
Abbildung 18: Layout-Automat von ALBERTI, aus (Moelle, 2006) .....	65
Abbildung 19: dRofus Graphical Function Planner, aus (dRofus Graphical function planner, 2016) .....	67
Abbildung 20: Darstellung von Verknüpfungen zwischen Nutzern, Tätigkeiten, und Räumen in einer Objektmatrix, aus (Schulz & Wölki, ME-Projektbericht Autobahn-	

Raststätte "2000", 2007), (Schulz & Wölki, Autobahnraststätte "2000" Objektmatrix Teil 1 Gastorientierter Bereich, 2016).....	68
Abbildung 21: Konzeptbild des Lösungsansatzes .....	74
Abbildung 22: Einordnung der Funktionenmodellierungsschritte im lebenszyklusorientierten SyProM –Vorgehensmodell, in Anlehnung an (von Both, 2006).....	80
Abbildung 23: Einordnung der Funktionenmodellierungsebenen im Modellraum der Konzeptplanung, in Anlehnung an (Langlotz, 2000, p. 87).....	82
Abbildung 24: Systematisches Vorgehen zur Funktionenmodellierung architektonischer Systeme, in Anlehnung an (von Both, 2006) .....	84
Abbildung 25: Notation einer generischen Nutzungsfunktion in der Detail- und Übersichtsdarstellung, in Anlehnung an (LANGLOTZ, 2000) .....	96
Abbildung 26: Graphische Notation eines Nutzers, in Anlehnung an UML (Fowler & Scott, 2000, S. 37).....	98
Abbildung 27: Übersichtsdarstellung des Funktionenobjektes N in der minimalen Form.....	100
Abbildung 28: Darstellung eines Funktionenobjektes: Detail- und Übersichtsdarstellung, in Anlehnung an (Langlotz, 2000, p. 138).....	101
Abbildung 29: Graphische Notation eines generischen Funktionenkontextobjekts .....	102
Abbildung 30: Graphische Notation des Zeitkontexts in Detail- und Übersichtsform, in Anlehnung an (Scholz, 1984).....	104
Abbildung 31: Graphische Notation einer Forderung in der Detail- und Übersichtsdarstellung, in Anlehnung an (Scholz, 1984).....	106
Abbildung 32: Graphische Notation einer Wirkung in Detail- und Übersichtsdarstellung, in Anlehnung an (Scholz, 1984).....	107
Abbildung 33: Notation einer generischen Produktfunktion in der Detail- und Übersichtsdarstellung, in Anlehnung an (Langlotz, 2000, p. 134).....	110
Abbildung 34: UML Klassendiagramm (Vererbungshierarchie) der funktionalen Beziehungen.....	111
Abbildung 35: Nutzerbeziehung zu einer Nutzungsfunktion und zu einem Funktionenbereich über den Zeitkontext.....	112
Abbildung 36: Funktionenobjekte als Ein-/Ausgangsgrößen verschiedener Funktionen.....	112
Abbildung 37: Graphische Darstellung der Priorisierung von Austauschbeziehungen .....	113
Abbildung 38: Steuerungsbeziehung, analog zu (Langlotz, 2000) .....	113
Abbildung 39: Kontextbeziehung zwischen einer Nutzungsfunktion und einem Funktionenkontextobjekt .....	114

Abbildung 40: Funktionenbereich als Realisierungsobjekt einer Nutzungsfunktion, analog zu (Langlotz, 2000, p. 139).....	115
Abbildung 41: Realisierungsbeziehungen von verknüpften Produkt- und Nutzungsfunktionen, in Anlehnung an (Langlotz, 2000, p. 127), (Huang, 2002).....	116
Abbildung 42: Hierarchische Beziehung zwischen einer übergeordneten Funktion und einer Teilfunktion.....	117
Abbildung 43: Teleologische Beziehung zwischen drei Funktionen.....	118
Abbildung 44: Eine generische Funktionenstruktursicht .....	119
Abbildung 45: Eine generische, teleologische Funktionenstruktursicht, in Anlehnung an (VDI2803, 1996, S. 7).....	122
Abbildung 46: Ein generisches, teleologisches Diagramm mit <i>Flächenforderungen</i> .....	123
Abbildung 47: Eine generische Nutzungsfunktionenstruktursicht – Detaildarstellung.....	127
Abbildung 48: Eine generische Nutzungsfunktionenstruktursicht – Übersichtsdarstellung.....	128
Abbildung 49: Eine generische Nutzungsfunktionenflussstruktursicht mit Funktionsgruppierungen (in Anlehnung an Langlotz (Langlotz, 2000, S. 106-107)) .....	131
Abbildung 50: Hierarchie der Funktionen und Funktionsgruppen im Fall a), in Anlehnung an (Langlotz, 2000, S. 106-107).....	132
Abbildung 51: Hierarchie der Funktionen und Funktionsgruppen im Fall b) (in Anlehnung an Langlotz (Langlotz, 2000, S. 106-107)) .....	132
Abbildung 52: Räumliche Funktionsbereiche als Bindeglied zwischen NF und Räume, in Anlehnung an (von Both, 2006, S. 116)) .....	133
Abbildung 53: Eine generische Struktur abstrakter Funktionsbereiche .....	136
Abbildung 54: Informationsmodell der hierarchischen Nutzungsfunktionenstruktursicht, in Anlehnung an (Langlotz, 2000, p. 148).....	137
Abbildung 55: Informationsmodell der teleologischen Nutzungsfunktionenstruktursicht, in Anlehnung an (Langlotz, 2000) .....	138
Abbildung 56: Informationsmodell der Nutzungsfunktionenflussstruktursicht, in Anlehnung an (Langlotz, 2000).....	140
Abbildung 57: Informationsmodell der Funktionsgruppierungen in der Nutzungsfunktionenflussstruktursicht, in Anlehnung an (Langlotz, 2000).....	141
Abbildung 58: Informationsmodell der Struktur der abstrakten Funktionsbereiche .....	143
Abbildung 59: Gesamtfunktion und Teilfunktionen einer Autobahnraststätte, in Anlehnung an (ROHATSCH, LEMME, NEUMANN, & WAGNER, GROSSKÜCHEN, 2002) UND (SCHULZ & WÖLKI, ME-PROJEKTBERICHT AUTOBAHN-RASTSTÄTTE "2000", 2007) .....	164

Abbildung 60: Die hierarchische Nutzungsfunktionenstruktursicht „Gäste bewirten“, in Anlehnung an (ROHATSCH, LEMME, NEUMANN, & WAGNER, GROSSKÜCHEN, 2002) UND (SCHULZ & WÖLKI, ME-PROJEKTBERICHT AUTOBAHN-RASTSTÄTTE "2000", 2007)	165
Abbildung 61: Die hierarchische Nutzungsfunktionenstruktursicht „Nahrungsmittel vorbereiten“, in Anlehnung an (ROHATSCH, LEMME, NEUMANN, & WAGNER, GROSSKÜCHEN, 2002) UND (SCHULZ & WÖLKI, ME-PROJEKTBERICHT AUTOBAHN-RASTSTÄTTE "2000", 2007)	165
Abbildung 62: Die hierarchische Nutzungsfunktionenstruktursicht „Speisen zubereiten“, in Anlehnung an (ROHATSCH, LEMME, NEUMANN, & WAGNER, GROSSKÜCHEN, 2002) UND (SCHULZ & WÖLKI, ME-PROJEKTBERICHT AUTOBAHN-RASTSTÄTTE "2000", 2007)	165
Abbildung 63: Die hierarchische Nutzungsfunktionenstruktursicht „Nahrungsmittel garen“, in Anlehnung an (ROHATSCH, LEMME, NEUMANN, & WAGNER, GROSSKÜCHEN, 2002) UND (SCHULZ & WÖLKI, ME-PROJEKTBERICHT AUTOBAHN-RASTSTÄTTE "2000", 2007)	166
Abbildung 64: Die hierarchische Nutzungsfunktionenstruktursicht, in Anlehnung an (ROHATSCH, LEMME, NEUMANN, & WAGNER, GROSSKÜCHEN, 2002) UND (SCHULZ & WÖLKI, ME-PROJEKTBERICHT AUTOBAHN-RASTSTÄTTE "2000", 2007)	166
Abbildung 65: Teleologische Funktionenstruktursicht der Vorbereitung (ausgewählte Funktionen)- Teil 1	170
Abbildung 66: Teleologische Funktionenstruktursicht der Vorbereitung (ausgewählte Funktionen)- Teil 2	172
Abbildung 67: Teleologische Nutzungsfunktionenstruktursicht der Zubereitung (ausgewählte Funktionen)	173
Abbildung 68: Nutzungsfunktionenstruktur der ersten Konzeptvariante, Teil 1	177
Abbildung 69: Nutzungsfunktionenstruktur der ersten Konzeptvariante, Teil 2	178
Abbildung 70: Nutzungsfunktionenstruktur der ersten Konzeptvariante, Teil 3	179
Abbildung 71: Funktionenbereichsstruktur der ersten Konzeptvariante – Verkaufsbereich und Produktionsbereich	180
Abbildung 72: Funktionenbereichsstruktur der ersten Konzeptvariante - Küche	181
Abbildung 73: Übersichtsdarstellung der Nutzungsfunktionenflussstruktursicht „Speisen bereiten“ (ausgewählte Funktionen), Variante 1	182
Abbildung 74: Nutzungsfunktionenflussstruktursicht Nahrungsmittel vorbereiten, Variante 1	183
Abbildung 75: Funktion Nutzungsfunktion „Fleisch vorbereiten“ mit Funktionenkontext	185
Abbildung 76: Nutzungsfunktion "Obst und Gemüse vorbereiten" mit Funktionenkontext	186
Abbildung 77: Struktur der abstrakten Funktionenbereiche, Variante 1	187

Abbildung 78: Nutzungsfunktionenstruktur der zweiten Konzeptvariante, Teil 1	189
Abbildung 79: Nutzungsfunktionenstruktur der zweiten Konzeptvariante, Teil 2	190
Abbildung 80: Nutzungsfunktionenstruktur der zweiten Konzeptvariante, Teil 3	191
Abbildung 81: Funktionenbereichsstruktur der zweiten Konzeptvariante – Verkaufsbereich und Produktionsbereich	191
Abbildung 82: Übersichtsdarstellung der Nutzungsfunktionenflussstruktur „Speisen bereiten“ (ausgewählte Funktionen), Variante 2	192
Abbildung 83: Struktur der abstrakten Funktionenbereiche, Variante 2	193
Abbildung 84: Nutzungsfunktionenflussstruktursicht, Variante 1	196
Abbildung 85: Produktfunktionenstruktur Garen in turbulenter Heißluft	198
Abbildung 86: Funktionengruppierung „Garen in turbulenter Heißluft“	199
Abbildung 87: Funktionenbereichsstruktur der warmen Küche, Variante 1	200
Abbildung 88: Teleologische Sicht der Flächenforderungen, Variante 1	201
Abbildung 89: Nutzungsfunktionenflussstruktursicht, Variante 2	203
Abbildung 90: Funktionenbereichsstruktur der warmen Küche, Variante 2	204
Abbildung 91: Teleologische Sicht der Flächenforderungen, Variante 2	206
Abbildung 92: Teleologische Funktionenstruktursicht, Variante 3	208
Abbildung 93: Nutzungsfunktionenflussstruktursicht, Variante 3	209
Abbildung 94: Produktfunktionenstruktur des kombinierten Garens in Dampf und turbulenter Heißluft	211
Abbildung 95: Funktionengruppierung „Kombiniertes Garen in Dampf und turbulenter Heißluft“	212
Abbildung 96: Funktionenbereichsstruktur der warmen Küche, Variante 3	213
Abbildung 97: Teleologische Sicht der Flächenforderungen, Variante 3	214
Abbildung 98: Teleologische Funktionenstruktursicht, Variante 4, Iteration 1	216
Abbildung 99: Nutzungsfunktionenflussstruktursicht, Variante 4	217
Abbildung 100: Produktfunktionenstruktur des Induktionsgarens	219
Abbildung 101: Funktionengruppierung „Garen durch elektromagnetische Induktion und Kontaktwärme“	220
Abbildung 102: Funktionenbereichsstruktur der ersten Konzeptvariante – Verkaufsbereich und Produktionsbereich	220
Abbildung 103: Übersicht über Verkaufs- und Produktionsbereich der dritten Konzeptvariante	221
Abbildung 104: Nutzungsfunktionenstruktur der dritten Konzeptvariante, Teil 1	223
Abbildung 105: Nutzungsfunktionenstruktur der dritten Konzeptvariante, Teil 2	224

Abbildung 106: Nutzungsfunktionenstruktur der dritten Konzeptvariante, Teil 3 .....	225
Abbildung 107: Nutzungsfunktionenstruktur der dritten Konzeptvariante, Teil 4 .....	226
Abbildung 108: Teleologische Funktionenstruktursicht, Variante 4, Iteration 2227	
Abbildung 109: Teleologische Sicht der Flächenforderungen, Variante 4 .....	229
Abbildung 110: Visio Toolbox zur multiskalierbaren Funktionenmodellierung in der Industrieplanung.....	232
Abbildung 111: Taxonomie zur Modellierung von speziellen Produktfunktionen, übernommen aus (Hirtz, Stone, McAdams, Szykman, & Wood, 2002, S. 73) .....	247
Abbildung 112: Taxonomie der speziellen Funktionenobjekten übernommen aus (Hirtz, Stone, McAdams, Szykman, & Wood, 2002, S. 72).....	248
Abbildung 113: Zusammenfassen von Funktionen zu Gruppierungen und die daraus resultierende Veränderung des Hierarchieaufbaus, übernommen aus (Langlotz, 2000, S. 108-109).....	249
Abbildung 114: Darstellung unterschiedlich detaillierter Funktionenstrukturen durch das Anzeigen von Elementen, die bestimmten Gruppierungsebenen angehören, übernommen aus (Langlotz, 2000, S. 108-109) .....	250
Abbildung 115: PF-Muster für die NF „Backen“ .....	251
Abbildung 116: PF-Muster für die NF „Dämpfen“ .....	252
Abbildung 117: PF-Muster für die NF „Kochen“ .....	252
Abbildung 118: PF-Muster für die NF „Backen“ .....	252
Abbildung 119: PF-Muster für die NF „Schmoren“ .....	253

# Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Liste der Primärtätigkeiten für eine Halle für Turnen und Spiele, aus (Schönfeld, 1992) .....	57
Tabelle 2: Liste der Sekundärtätigkeiten für eine Halle für Turnen und Spiele, aus (Schönfeld, 1992) .....	58
Tabelle 3: Liste der Personen und Dinge für eine Halle für Turnen und Spiele, aus (Schönfeld, 1992) .....	58
Tabelle 4: Herleitung der Entwurfsobjekttypen, aus (Scholz, 1984), (Baumann, 1990), (von Both, 2006), (Langlotz, 2000) .....	88
Tabelle 5: Herleitung der Funktionentypen, aus (SCHOLZ, 1984) (SCHÖNFELD, 1992) (WEBER, DIE FUNKTION DER FORM, 1994) (RUDE, 1998) (LANGLOTZ, 2000) (HUANG, 2002) (PAHL & BEITZ, 1993) (VDI2803, 1996) (VON BOTH, 2006) .....	91
Tabelle 6: Eigenschaften der hierarchischen Nutzungsfunktionenstruktursicht, in Anlehnung an (Langlotz, 2000).....	138
Tabelle 7: Eigenschaften der teleologischen Nutzungsfunktionenstruktursicht, in Anlehnung an (Langlotz, 2000).....	139
Tabelle 8: Eigenschaften der Nutzungsfunktionenflussstruktursicht, in Anlehnung an (Langlotz, 2000).....	142
Tabelle 9: Eigenschaften der Struktur der räumlichen Funktionenbereiche .....	144
Tabelle 10: Eigenschaften der Klasse Nutzungsfunktion, in Anlehnung an (Langlotz, 2000) .....	145
Tabelle 11: Eigenschaften der Klasse Funktionenobjekt, in Anlehnung an (Langlotz, 2000) .....	146
Tabelle 12: Eigenschaften der Klasse Funktionengruppierung, in Anlehnung an (Langlotz, 2000).....	147
Tabelle 13: Eigenschaften der Klasse Nutzer, in Anlehnung an (Scholz, 1984)...	148
Tabelle 14: Eigenschaften der Klasse Zeitkontext, in Anlehnung an (Scholz, 1984) .....	149
Tabelle 15: Eigenschaften der Klasse Forderung, in Anlehnung an (Scholz, 1984) .....	150
Tabelle 16: Eigenschaften der Klasse Wirkung, in Anlehnung an (Scholz, 1984)	151
Tabelle 17: Eigenschaften der Klasse Produktfunktion, in Anlehnung an (Langlotz, 2000) .....	152
Tabelle 18: Beschreibung der Garverfahren, aus (Rohatsch, Lemme, Neumann, & Wagner, Grossküchen, 2002, S. 117) .....	158
Tabelle 19: Übersicht der Flächenforderungen der Varianten.....	230

# Abkürzungsverzeichnis

ADM	Activity Data Method
AFS	Allgemeine Funktionenstruktur
CAAD	Computer Aided Architectural Design
CAD	Computer Aided Design
FA	Funktionsanalyse
FAST	Functional Analysis System Technique
KFS	Kanonische Funktionenstruktur
NF	Nutzungsfunktion
NFS	Nutzungsfunktionenstruktur
NIST	National Institute of Standards and Technology
OWL	Web Ontology Language
PF	Produktfunktion
SE	Systems Engineering
SFS	Spezielle Funktionenstruktur
TQM	Total Quality Management
UML	Unified Modelling Language
WA	Wertanalyse



# Vorwort

Die konzeptuellen Grundlagen dieser Arbeit wurden während meiner Arbeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Building Lifecycle Management (BLM) am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) gelegt.

Meiner Doktormutter, Frau Professor Dr.-Ing. Petra von Both danke ich vor allem für die herzliche Aufnahme an ihrem Fachgebiet, welche die Konzipierung dieser Arbeit überhaupt ermöglicht hat. Ihr gebührt ganz besonderer Dank für die wissenschaftliche Betreuung, die wohlwollende Unterstützung, das Vertrauen und die Offenheit bei der Erstellung dieser Arbeit.

Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. Albert Albers danke ich für das der Arbeit entgegengebrachte Interesse, sowie für die Übernahme des Korreferates. Herzlicher Dank gilt Herrn Professor Andreas Wagner für die Aufnahme an seinem Fachgebiet und für die vertrauensvolle Projektarbeit, die mein Interesse für das interdisziplinäre Arbeiten mit Fachleuten aus Architektur, Wirtschafts- und Ingenieurwissenschaften bestärkt hat.

Für die erlebte kollegiale Zusammenarbeit während meiner Zeit am Fachgebiet BLM bedanke ich mich bei allen Mitarbeitern. Hervorheben möchte ich hier Dipl.-Ing. Sebastian Ebertshäuser, Dipl.-Ing. Karsten Rexroth und Dipl.-Ing. Angelika Lückert, die mich mit wertvollen Diskussionsbeiträgen sehr unterstützten.

Schließlich danke ich auch meiner Familie für ihre Liebe und ihren Rückhalt. Ihr seid ein unablässiger Segen Gottes für mich. Meiner Ehefrau Yoana und meiner Tochter Anna Nadine, die mich motiviert haben, und meinen Eltern, die stets an mich glauben haben, widme ich diese Arbeit.

*Karlsruhe, im Juli 2020*

*Milan Marinov*



# 1 Einleitung

## 1.1 Motivation

Die globale Wirtschaft wird gekennzeichnet durch schnelle Innovationen, immer kürzer werdende Entwicklungs- und Produktlebenszyklen bei gleichzeitig steigender Komplexität und immer höheren Erwartungen der Nutzer bezüglich Leistung, Funktionalitätsumfang, Qualität und Kosten zukünftiger Produkte. Produktinnovationen leisten einen entscheidenden Beitrag zur Art und Weise ob und wie diese Produkte ihre Marktposition behaupten können. (Marinov, et al., 2011, S. 456)

Innovationsfähigkeit und Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens hängen in hohem Maße von dessen Fähigkeiten in der technischen Architekturontwicklung und den richtigen Architekturentscheidungen ab. (Haberfellner, Fricke, de Weck, & Vössner, 2012, S. 192) Der zu schnelle Wechsel auf neue Architekturen kann Investitionen gefährden und in eine mangelnde Marktakzeptanz resultieren. Umgekehrt, wenn man seine Produkte zu lange auf Grundlage bestehender Architekturen entwickelt, kann dies zu Wettbewerbsnachteile führen. (Haberfellner, Fricke, de Weck, & Vössner, 2012, S. 191)

Der Architekturbegriff ist hierbei im weiteren Sinne des Systems Engineering als etwas über den Begriff der Struktur hinausgehendes, als die Zuordnung von Funktionen zu Elementen einer Struktur mit dem Zweck einen bestimmten Wert zu erzeugen, zu verstehen. (Haberfellner, Fricke, de Weck, & Vössner, 2012, S. 183-184) Das Ziel einer Architekturgestaltung ist somit stets die Entwicklung einer Architektur, die einen zuvor definierten Zweck – eine nützliche Funktion, die ein Produkt im Rahmen seiner Umwelt ausübt. (Haberfellner, Fricke, de Weck, & Vössner, 2012, S. 187)

Das bedeutet, dass die funktionale Betrachtung des Systems ein zentraler Ausgangspunkt der Architekturgestaltung ist, da sie Zweck und Wert des Produktes festlegt. (Haberfellner, Fricke, de Weck, & Vössner, 2012, S. 185) In diesem Sinne schreibt Albers: „Die primäre Aufgabe eines Entwicklers ist es, die Eigenschaften eines Systems – Bauwerk, Maschine, Software ... – derart festzulegen, dass es seine beabsichtigten Funktionen in einer bestimmten Qualität erfüllen kann.“ (Albers & Wintergerst, The Contact and Channel Approach (C&C<sup>2</sup>-A): relating a system's physical structure to its functionality, 2013)

Neben den Zielen und Funktionen erarbeiten Architekten auch Konzepte, welche die Funktionen in eine Form übersetzen, also den Elementen bestimmte Funktionalitäten zuordnen und Schnittstellen zwischen den Elementen und deren Zuordnung zueinander festlegen. (Haberfellner, Fricke, de Weck, & Vössner, 2012, S. 193) Funktion und

Form eines Produktes bzw. einer Architektur sind zwei grundsätzlich verschiedene Begriffe. Während die abstrakte Funktion für den Nutzen, den Wert, den Zweck einer Lösung bzw. eines Lösungsansatzes steht, ist die konkrete Form gewissermaßen der Träger der Funktion. Folglich kann festgehalten werden, dass eine Funktion ohne Form nicht implementiert werden, und dass eine Form ohne Funktion keinen Wert erzeugen kann. (Haberfellner, Fricke, de Weck, & Vössner, 2012, S. 185)

Der Architekt Christopher Alexander erkannte, dass die zu entwickelnden Systeme immer komplexer wurden und dass eine verantwortliche Architekturgestaltung sich nicht mehr ausschließlich intuitiv erarbeiten lässt. (Alexander, *Notes on the synthesis of form*, 1964) Er folgerte, dass Methoden notwendig sind, um Architekturen zu entwickeln, welche nachhaltig den von den Nutzern angeforderten Nutzen sicherstellen. (Haberfellner, Fricke, de Weck, & Vössner, 2012, S. 187) Die von Alexander erarbeiteten Grundsätze liegen unter anderem verschiedener systematischer Entwurfsmethoden in der objektorientierten Softwareentwicklung als Entwurfsmustersprachen zugrunde. (Gamma, Helm, Johnson, & Vlissides, 1995, S. 2)

Eine solche methodische, formalisierbare Erarbeitung einer Architektur ist insbesondere bei komplexen, neuartigen oder hochvernetzten Systemen anzustreben. Derartige Systeme sind unter anderem sowohl im Bereich der Architektur als auch im Bereich der Mechatronik Gegenstand planerischer und gestalterischer Tätigkeiten.

### 1.1.1 Funktionenmodellierung im Kontext der Entwicklungsmethodik der Mechatronik

Mechatronik ist ein Begriff, der erstmals in den späten Sechzigerjahren von der japanischen Firma Yaskawa Electric verwendet wurde. Er leitet sich aus der Kombination und Synergie mechanischer und elektronischer Technologien ab. Mechatronik ist laut Tomizuka die synergetische Integration von physikalischen Systemen mit Informationstechnologie und komplexen Entscheidungsfindungen während der Entwicklung, Herstellung und Bedienung von industriellen Produkten und Prozessen. (Huang, 2002, S. 2), (Tomizuka, 2000, S. 18-20)

Die Entwicklungsmethoden im Bereich der Mechatronik leiten sich geschichtlich von den Entwicklungsmethoden der beteiligten Disziplinen ab, vor allem die des Maschinenbaus, der Elektronik und der Informatik, gehen aber im Sinne einer engen synergetischen Kopplung der Disziplinen über eine reine Kombination vorhandener Merkmale hinaus. Die verschiedenen Ansätzen in den Konstruktionsmethoden des Maschinenbaus, die von Roth, Pahl und Beitz, Koller, Rodenacker ( (Roth, *Konstruieren mit Konstruktionskatalogen: Band 1: Konstruktionslehre*, 2000), (Koller, 1994), (Pahl & Beitz, 1993) UND (Rodenacker, 1976)) und anderen erarbeitet wurden, wurden in der Richtlinie VDI

2221 „Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte“ und VDI 2222 „Konstruktionsmethodik – Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien“ in einer Konsensform zusammengefasst. (Huang, 2002, S. 9)

Im methodischen Rahmen dieser Richtlinien nimmt die Ermittlung von Funktionen und deren Strukturen eine zentrale Stellung in den frühen Phasen der Planung und Konstruktion mechanischer Produkte ein. (VDI2221, 1993, S. 9) Die Anforderungsliste wird in eine Funktionenstruktur überführt, auf deren Grundlage die Lösungsprinzipien erarbeitet werden. In der entsprechenden Richtlinie zur Entwicklung mechatronischer Systeme – der VDI 2206 „Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme“ – hat die Funktionenstrukturentwicklung ebenfalls eine zentrale Stellung zwischen dem Erarbeiten der Anforderungen und der Wirkstrukturen.

Albers schreibt im Zusammenhang mit der methodischen Entwicklung mechatronischer Systeme: „Es gibt eine breite Basis von Ergebnissen der Design-Forschung, welche der vernetzten Modellierung von Realisierungseigenschaften der Systeme und deren Funktionen eine zentrale Bedeutung zumessen.“ (Albers & Wintergerst, The Contact and Channel Approach (C&C<sup>2</sup>-A): relating a system's physical structure to its functionality, 2013) Dementsprechend liegen bereits detaillierte Methoden zur Funktionenmodellierung mechatronischer Systeme als Forschungsergebnisse vor. Sie werden durch formalisierbare, modellbasierte, rechnerverarbeitbare Abbildung der Funktionen gekennzeichnet. Ein wichtiger Bestandteil solcher Methoden ist die Festlegung eines endlichen, vordefinierten Vokabulars aus Funktionenverben und Funktionenflussgrößen, der eine Voraussetzung für die Rechnerverarbeitbarkeit der erstellten Funktionenstrukturen ist.

Rechnerverarbeitbare Funktionenmodelle erhöhen das Potential der Funktionenstrukturentwicklung wesentlich, da sie eine Vielzahl von automatisierten Rechneranwendungen ermöglichen können. Einige dieser Anwendungen sind die automatisierte, semantische Konsistenzprüfungen von komplexen, vernetzten Produktmodellen (Marinov, et al., 2011), (Marinov, Schubert, & Ovtcharova, 2008), die Unterstützung der Wiederverwendung mechatronischer Komponenten und Teilsysteme (Marinov, Krappe, & Ovtcharova, 2007), die Unterstützung einer testgetriebenen Entwicklung mechatronischer Komponenten (Marinov, Ovtcharova, & Awad, Test Driven Design in der Mechatronik Teil 1, 2009) UND (Marinov, Ovtcharova, & Awad, Test Driven Design in der Mechatronik Teil 2, 2009), und die rechnergestützte Ableitung von Simulationsmodellen (Huang, 2002, S. 166).

Formalisierbare Funktionenmodelle, die auf ein festgelegtes Vokabular basieren, können darüber hinaus als Kommunikationsgrundlage für die Entwicklung von komplexen, interdisziplinären Produkten in verteilten Teams dienen. (Marinov, et al.,

2011) Sie eignen sich sehr gut zur Abbildung der Entwicklungsziele, haben eine festgelegte Semantik, ermöglichen eine disziplinneutrale Darstellung der Entwicklungsaufgabe und sind ohne Detailkenntnisse aus einem bestimmten Fachbereich – zum Beispiel Maschinenbau, Elektronik oder Informatik – verständlich. (Marinov, Krappe, & Ovtcharova, 2007) Wohlgeformte Funktionenstrukturen erfüllen auch einen weiteren wichtigen Zweck: Sie inspirieren das Denken über den technischen Kontext eines Entwurfsproblems. (Albers & Wintergerst, The Contact and Channel Approach (C&C<sup>2</sup>-A): relating a system's physical structure to its functionality, 2013)

Derartige Funktionenmodelle und Methoden zur Modellierung von allgemeinen, kanonischen und speziellen Funktionen mechatronischer Produkte, die maßgeblich auf der Konstruktionsmethodik von Roth (Roth, Konstruieren mit Konstruktionskatalogen: Band 1: Konstruktionslehre, 2000) aufbauen, wurden von Langlotz (Langlotz, 2000) und Huang (Huang, 2002) erarbeitet. Ein weiterer Vertreter ist Stone mit der unter seiner Leitung entwickelten „Functional basis for engineering design“. (Hirtz, Stone, McAdams, Szykman, & Wood, 2002)

Solche wohldefinierten Funktionenmodelle legen die Grundlage für eine methodische, systematische Vorgehensweise bei der Entwicklung von Funktionenstrukturen. Es wurde experimentell nachgewiesen, dass die Verwendung solcher Methoden zu wesentlich vollständigeren, wiederholbareren Ergebnissen der Funktionsmodellierung führt. Eine wichtige Voraussetzung hierfür ist eine gute Kenntnis der jeweiligen Methode seitens der Funktionsstrukturentwickler. (Kurfman, Stock, & Stone, 2003, S. 682-693)

### 1.1.2 Funktionenmodellierung im Kontext der Entwicklungsmethodik der Architektur

Die Geschichte der Architekturtheorie überliefert die Synonymität von Funktion, Zweck und Bauaufgabe. (Weber, 2012, S. 69) Der bekannte Grundsatz „Form follows function“ stammt von dem Architekten Sullivan. Laut Weber muss dieser Satz aber nicht zwangsweise im engeren Sinne des Funktionalismus ausgelegt werden. Er kann bedeuten, dass sich die Form unmittelbar aus den technischen und nutzertechnologischen Bedingungen des Entwurfes entwickelt, aber es kann sich auch allenthalben zwischen Form und Funktion ansammeln – weitere Aussagen, abstrakte Formen, Ikonen, Zeichen und Symbole. (Weber, 2012, S. 72)

Kruft schreibt: „Natürliche, soziale, geistige Faktoren, *die Summe menschlicher Bedürfnisse* machen die Funktion aus, die die Form eines Gebäudes bestimmen sollen. Der technologische, konstruktive Aspekt steht im Hintergrund (...). Es geht Sullivan darum, in der architektonischen Form *menschliche Funktionen und Bedürfnisse* aus-

zudrücken, nicht konstruktive Gesetzmäßigkeiten.“ Die technologisch-funktionalistische Interpretation von Sullivans Formel *form follows function* sieht Kruft als falsch an, vielmehr sieht er Sullivans *Funktionsbegriff als einen romantisch-nationalen*. (Kruft, 2004, S. 411)

Weber geht noch einen Schritt weiter und untersucht das Konzept der Funktion der Form, denn aus seiner Sicht erfüllt die Architektur nicht nur technische und nutzungstechnologische Funktionen, sondern auch Funktionen des ästhetischen Genusses und der kulturellen Orientierung. (Weber, *Die Funktion der Form*, 1994, S. 129) Aus diesen Überlegungen wird ersichtlich, dass der Funktionsbegriff in der Architektur wesentlich facettenreicher im Vergleich zur Mechatronik ist.

Die Entwicklungsmethodik der Architektur erkennt in der Funktion einen von mehreren Einstiegspunkten zum architektonischen Entwurf. Engel schreibt: „Architektur ist begründet durch ihre Funktion, bestimmte Grundbedürfnisse des Menschen zu erfüllen, operationale und biologische, aber auch psychologische und semantische. Diese Funktion wird verstattet durch eine bestimmte Gestalt, wie diese wiederum erst durch Technik zustande kommt. *In diesem Sinne ist Architektur der 3-Pole-Verbund Funktion – Gestalt – Technik*“. (Engel, 2002, S. 22) Bielefeld und El Khouli identifizieren ebenfalls mehrere grundlegende Entwurfsparameter für die Architektur: *Funktion, Konstruktion, Gestalt und Kontext*. (Bielefeld & El Khouli, 2011, S. 8) Wie in der Entwicklungsmethodik der Mechatronik gibt es auch in der Entwicklungsmethodik der Architektur verschiedene funktionsorientierte Methoden, von denen einige im Folgenden beispielhaft kurz erläutert werden, um einen erste Übersicht über die Funktionsmodellierung im architektonischen Entwurf zu gewinnen.

Schönfeld (Schönfeld, 1992, S. 12) geht in seiner Entwurfsmethode von den Nutzungsfunktionen (Tätigkeiten des Nutzers) aus. Zunächst werden die Nutzungsfunktionen ermittelt, in Listen und Flussdiagrammen strukturiert und Funktionsabläufe (z.B. Abläufe in einem Krankenhaus) bestimmt. Erst auf dieser funktionsorientierten Grundlage werden Raumzuordnungsschemata erarbeitet.

Steinmann (Steinmann, 1997, S. 28) sieht die Funktion als Mittler zwischen Form und Konstruktion des Bauwerks. Dementsprechend sieht er die Rolle des Architekten als die des Mittlers zwischen dem Künstler (zweckfreie Form) und dem Ingenieur (zweckgebundene Konstruktion). Die Funktion steht demnach für einen wandelbaren Zweck. In seinem Prozessmodell findet der funktionale Entwurf parallel mit dem Entwurf der Form und der Konstruktion. Steinmann schreibt: „Funktionsmodelle sind eine Entwurfsgrundlage, der eine große Bedeutung für eine durchgängige Rechnerunterstützung zukommt – sie sind ein semantisches Modell des Gebäudes, welches über alle Lebensphasen als differenzierter, objektorientierter Beschrieb er-

halten bleibt.“ (Steinmann, 1997, S. 1) Darüber hinaus sieht er die funktionale Spezifikation als eine methodische Grundlage zur Entwicklung und Evaluierung von Entwurfsvarianten. (Steinmann, 1997, S. 1)

Scholz (Scholz, 1984, S. 15) gliedert die frühen Phasen des Gebäudeentwurfes in folgenden Arbeitsschritten: Ermittlung der Funktionen, (topologische) Zuordnung der Funktionen und Ergänzung um Sekundärfunktionen, Zuordnung der Räume und Gestaltung der Räume. Diese Manipulationen beschränken sich im Wesentlichen auf die abstrakten Räume mit dem Ziel, die optimale Topologievariante geometrisch zu realisieren.

Der Entwurfsprozess startet nach Baumann (Baumann, 1990, S. 248) mit dem Erarbeiten der Funktionen, Recherche nach vorhandenen Funktionslösungen und Modellierung neuer bzw. Anpassung bestehender Funktionsschemata. Danach werden die Funktionsparameter zugeordnet und die Funktionslösungen geprüft. Erst danach werden die Räume und die Gestalt des Bauwerks entworfen.

Von Both schlägt im Unterschied zu den oben genannten Autoren ein lebenszyklusorientiertes, systemisches Projektmodell vor, welches vor dem interdisziplinären Hintergrund dieser Arbeit von besonderem Interesse ist. (von Both, 2006) Der Produktlebenszyklus wird in sieben Lebensphasen unterteilt: Systemvorstudie, Systementwicklung, Systemherstellung, Systemeinführung, Systembetrieb, Systemwechsel und Systemrückbau. Innerhalb der frühen Phase der Systementwicklung befinden sich die Konzept- und die Entwurfsplanung, dessen wesentlicher Bestandteil die ganzheitliche Funktionsbetrachtung, bzw. das Erarbeiten von Funktionen und Funktionenstrukturen ist. (von Both, 2006, S. 293) Im Rahmen ihres systemischen Ansatzes legt von Both eine Systembeschreibung fest, in welcher zwischen verschiedenen Arten von Funktionen differenziert wird: Projektfunktionen, Nutzungsfunktionen und Produktfunktionen. (von Both, 2006, S. 119)

Die angeführten Beispiele aus der Architektur belegen, dass die Funktion als Begriff und als Entwurfsobjekt einen durchaus wichtigen Stellenwert im Kontext der Entwicklungsmethodik der Architektur hat. Dabei kann der Funktionenbegriff in der Architektur wesentlich vielschichtiger und komplexer interpretiert werden als in der Mechatronik.

### 1.1.3 Problemstellung

Aus der Perspektive des Systems Engineering können bestimmte Parallelen bei der Entwicklung komplexer, vernetzter Systeme gezogen werden. Dieser Standpunkt wird im systemischen Ansatz von von Both untersucht und vertieft. (von Both, 2006)

In Bezug auf Architektur und Mechatronik betreffen die Parallelen sowohl die Produkt- als auch die Prozessmodelle der beiden Disziplinen. Darüber hinaus gibt es bei der Entwicklung architektonischer Systeme neben den ästhetischen, kulturellen und nutzungstechnologischen Aspekten stets auch einen (bau-)technischen Aspekt.

Von Both bezeichnet die entsprechenden Modellebenen – Produktfunktionen, Funktionsträger und Konstruktionsprinzipien – als die „elementbezogene Objektstruktur“ im Gegensatz zur „räumlichen Objektstruktur“, die aus den Nutzungsfunktionen, Funktionenbereichen und Räumen besteht. (von Both, 2006, S. 302) Bei modernen Gebäude kann die elementbezogene Objektstruktur – nicht unähnlich der Mechatronik – neben mechanische auch elektronische und softwaretechnische Komponenten einschließen. Das liegt auch daran, dass die Mechatronik längst ihren Einzug in die Gebäudetechnik und –Automatisation gehalten hat.

In Architektur und Mechatronik herrscht nach wie vor Mangel an Modellen, Methoden und Softwarewerkzeuge für eine integrierte, vernetzte Analyse und Synthese der funktionalen und strukturellen Zusammenhänge der zu entwerfenden Produkte. Albers stellt fest: Es gibt keine durchgängigen Modelle, die es erlauben, alle Modell- und Abstraktionsebenen des Systems von der Funktion bis hin zur Geometrie konsistent zu beschreiben. (Albers & Wintergerst, *The Contact and Channel Approach (C&C<sup>2</sup>-A): relating a system's physical structure to its functionality*, 2013)

Produktmodelle sollen aber sowohl die physischen Eigenschaften als auch die beabsichtigten Funktionen der Produkte abbilden können. (Albers & Wintergerst, *The Contact and Channel Approach (C&C<sup>2</sup>-A): relating a system's physical structure to its functionality*, 2013) Das bedeutet in Bezug auf die Architektur, dass sowohl die Nutzungs-, als auch die Produktfunktionen und die sie konkretisierenden Modellebenen in einem vernetzten, wissensbasierten Produktmodell abgebildet werden sollen. Von Both erkennt ebenfalls den Bedarf, diese Ebenen wissensbasiert zu modellieren und miteinander zu vernetzen. (von Both, 2006, S. 296)

Entwicklungsmethoden der Mechatronik fokussieren sich vor allem auf die Produktfunktionen. Während es hierfür bereits wissensbasierte, rechnerverarbeitbare Funktionenmodelle auf mehreren Abstraktions- und Modellebenen als Forschungsergebnisse gibt, existieren im Bereich der Architektur keine vergleichbaren, wissensbasierten Modelle. Das gilt sowohl für Nutzungs- als auch für Produktfunktionen. Entsprechend gibt es auch nicht die Möglichkeit, die Nutzungs- und Produktfunktionen untereinander und mit den weiteren relevanten Teilmodellen zu vernetzen.

In der Planung von Industriebauwerken (Industrieplanung) sind verschiedene Fachdisziplinen und dementsprechend verschiedenartige Funktionenflüsse kom-

plex miteinander vernetzt. Logistikplanung, Fabrikplanung und Großküchenplanung sind einige Ausprägungen der Industrieplanung. Bei Industriebauwerken ist eine frühzeitige und korrekte Vernetzung von Architektur und Technik entscheidend. (VdF, 2017)

Der Bereich der Großküchenplanung ist eine Verschmelzung zwischen Bau und Technik. Als Solche weist er vielfältige Wechselwirkungen zwischen architektonischen Nutzungsfunktionen und technischen Produktfunktionen auf. Die Planung einer Einrichtung der Außer-Haus-Wirtschaft (z.B. eines Restaurants oder einer Autobahnraststätte) erfordert neben Architekturkenntnissen auch Kenntnisse aus verschiedenen Fachbereichen: Speisenqualität, Personalbedarf, Energie, Abläufe, technische Ausstattung und vieles mehr. (VdF, 2017)

Die komplexen funktionalen Abhängigkeiten zwischen den Puzzleteilen der verschiedenen Fachdisziplinen erfordern einen integralen Planungsansatz, damit sie sinnvoll ineinandergefügt werden können. (VdF, 2017) Es gibt komplexe funktionale Zusammenhänge zwischen den nutzungstechnologischen Aspekten der Architektur (Nutzungsfunktionen) und der technischen Gebäudeausrüstung bzw. der Mechatronik (Produktfunktionen).

Es gibt jedoch keine Möglichkeit, diese komplexen Zusammenhänge modellbasiert, disziplinübergreifend und rechnergestützt darzustellen. Das für eine funktionsorientierte, integrierte Planung benötigte Wissen über Nutzungs- und Produktfunktionen ist entweder implizit als Wissen der Architekten und der Systemplaner für Verpflegung (Fachplaner), oder als losgelösten Dokumenten bzw. Teilmodellen vorhanden, so dass eine rechnergestützte integrale Planung mit automatisierten Konsistenzüberprüfungen der Teilmodelle nicht stattfinden kann. Erschwerend kommt hinzu, dass die Komplexität der Planung eines Objektes der Außer-Haus-Wirtschaft oft unterschätzt wird. (VdF, 2017)

Das führt dazu, dass in der Praxis mangels integrierter, funktionsorientierter Planung und konzeptionelle Schwächen und eklatante Baumängel zu spät entdeckt werden – nicht selten erst am fertigen Bauwerk – und dadurch erhebliche Mehrkosten, Verzögerungen und Qualitätsmängel entstehen. Adam Luketic vom Verband der Fachplaner schreibt: „Wir finden zum Beispiel Schulküchen, die auf eine personalintensive Frischkostproduktion ausgelegt sind, wir finden falsch ausgelegte Lüftungssysteme, die den Koch in unzumutbaren Raumtemperaturen arbeiten lassen, und in manchen Küchen sind gar Böden oder Wandfliesen wieder zu entfernen.“ (VdF, 2017)

Ein methodisches Vorgehen zur integrierten, funktionsorientierten Planung setzt voraus, dass es ein grundlegendes Aktivitätsmodell gibt, wobei die Ergebnisse dieser Aktivitäten Produktbeschreibungen in Form eines Produktmodells darstellen. (Huang, 2002, S. 4) Mit dem Fortschreiten des Entwicklungsprozesses werden diese Ergebnisse immer konkreter – von Anforderungen zu Nutzungsfunktionen, Produktfunktionen, Topologien, Räume etc. Die Qualität des Produktmodells ist daher essentiell für die Qualität des entsprechenden methodischen Vorgehens. Ohne ein wohldefiniertes Produktmodell ist kein wohldefiniertes Vorgehen möglich. Aus diesen Überlegungen heraus treten gleichzeitig folgende Probleme in den Vordergrund:

*Problem 1: Fehlende Kenntnisse und Modelle über die funktionalen Zusammenhänge der nutzungs- und produkttechnologischen Aspekte in der Industrieplanung.*

Es gibt keine wissensbasierten, vernetzten Funktionsmodelle, die alle relevanten, funktionalen Aspekte der Produktmodelle beschreiben. Steinmann schreibt diesbezüglich: „In den gegenwärtigen, modellbasierten CAAD-Systemen werden nur Wirkungsziele (Zweck) in die Auswertung einbezogen, die generisch für Bauwerke sind, wie z.B. ihre Tragfähigkeit. Für den nutzungsspezifischen Zweck von Bauwerken existiert keine allgemeingültige Beschreibung.“ (Steinmann, 1997)

Für den architektonischen Entwurf fehlen nicht nur wissensbasierte Nutzungsfunktionsmodelle, sondern auch damit kohärente Produktfunktionenmodelle. Daher fehlt auch die Möglichkeit, die nutzungstechnologischen mit den technischen Aspekten des Planungsgegenstands modelltechnisch zu verknüpfen.

Der Mangel an Funktionenmodellen führt dazu, dass in der Praxis eines Planers oder Entwicklers die Informationsmodelle oft lediglich die physische, geometrische Struktur des Planungsgegenstands beschreiben. (Albers & Wintergerst, The Contact and Channel Approach (C&C<sup>2</sup>-A): relating a system's physical structure to its functionality, 2013) Funktionen und deren Beziehungen zu den Eigenschaften des Systems werden deswegen oft nicht explizit modelliert und dokumentiert.

Diese Lücken werden nur durch das implizite Wissen der beteiligten Entwerfer ergänzt. Das führt zu unterschiedlichen Problemen, welche die Effizienz des Entwurfsprozesses vermindern. (Albers & Wintergerst, The Contact and Channel Approach (C&C<sup>2</sup>-A): relating a system's physical structure to its functionality, 2013) Zu diesen Problemen zählen vergessene oder nicht berücksichtigte aber notwendige Planungsaspekte bzw. Planungsinhalte im Bauwesen, die erst in späteren Produktlebensphasen entdeckt werden, was höhere Kosten und längere Entwicklungszeiten nach sich zieht. Ein weiteres Problem sind versäumte Optimierungsmöglichkeiten. (von Both, 2006, S. 3) So kann

zum Beispiel durch mangelnde funktionenorientierte Optimierung des Flächenbedarfs von Bauwerken kein optimaler Einsatz wesentlicher Instrumente der Kostenregulierung gewährleistet werden. (Stamm-Teske, Fischer, & Haag, 2010, S. 16)

Der Mangel an wohldefinierten Funktionsmodellen kommt mit mangelnden oder mangelhaften Definitionen der Funktionen und der mit ihnen zu vernetzenden Entwurfsobjekten einher, was sich unter anderem in einer inkonsistenten Differenzierung zwischen diesen niederschlägt. In der Literatur über die Entwicklungsmethodik der Architektur werden nicht selten topologische Einheiten, Grundrisseinheiten und Funktionsflächen synonymisch mit Funktionen benutzt und miteinander ausgetauscht.

Bauprojekte weisen gerade zu Projektbeginn meist unscharf formulierbare Zielsetzungen auf. (von Both, 2006, S. 2) Funktionenmodelle haben das Potential, die Modellierung, Handhabung und systematische Aufklärung dieser Unschärfe zu unterstützen. Der Mangel an solchen Modellen weicht dieses Potential auf und versäumt die Unterstützung der Handhabung der Unschärfe in den frühen Planungsphasen. Das führt zu einer fehlerbehafteten, nicht eindeutigen Kommunikation von funktionalen Zusammenhängen zwischen den Beteiligten in den frühen Planungsphasen.

Darüber hinaus wird durch die mangelnde Formalisierbarkeit der integrierten funktionalen Planungsaspekte die Rechnerunterstützung und ganzheitliche, wissensbasierte Konsistenzprüfung der Entwurfsmodelle erschwert, was zu softwaretechnische Insellösungen und lediglich Abdeckung von Teilaspekten führt.

Die Fähigkeit eines Entwerfers, geeignete Lösungen zu finden, hängt stark von seiner Fähigkeit, zwischen den mentalen Modellen der abstrakten Funktionen und der konkreten physischen Strukturen zu „übersetzen“ und zu wechseln. (Albers & Wintergerst, The Contact and Channel Approach (C&C<sup>2</sup>-A): relating a system's physical structure to its functionality, 2013) Wenn die entsprechenden Funktionsmodelle fehlen, wird das Arbeiten auf der Ebene der Funktionen obstruiert und das Fehlerpotential erhöht. Als Konsequenz arbeitet der Mangel an Funktionsmodelle einem optimalen Lösungsfindungsprozess entgegen.

*Problem 2: Fehlende systematische Vorgehensweise für eine integrierte, funktionenorientierte Lösungsfindung in der Industrieplanung.*

Der Mangel an wohldefinierten, wissensbasierten Funktionsmodellen führt zu mangelnden oder mangelhaften systematischen Vorgehensweisen zur Entwicklung von Funktionsmodellen. Albers stellt aber fest, dass auch erfahrene Entwickler Schwierigkeiten haben, alleine auf Grundlage ihrer Intuition vollständige und korrekte Funktionsmodelle zu erstellen und dabei wiederholbare Ergebnisse zu erzielen.

---

(Albers & Wintergerst, The Contact and Channel Approach (C&C<sup>2</sup>-A): relating a system's physical structure to its functionality, 2013) Kurfman, Stock und Stone stellen fest, dass dem durch wohldefinierte Funktionsmodelle und systematisches Vorgehen Abhilfe geschaffen werden kann. Ein systematisches Vorgehen zur Funktionsmodellierung unterstützt darüber hinaus ein besseres Verständnis über die grundlegenden Zusammenhänge des Systems und eine effiziente Entwicklung optimaler Lösungen. (Kurfman, Stock, & Stone, 2003, S. 682-693)

Ein fehlendes systematisches Vorgehen zur Funktionsmodellierung verhindert die methodische Eingliederung der Funktionsmodellierung im Entwicklungsprozess und verringert den Nutzen der Funktionsmodellierung. Dies führt dazu, dass die funktionalen Modellebenen im Entwicklungsprozess nicht systematisch eingebunden werden können. Wegen der mangelnden methodischen Unterstützung besteht die Gefahr, dass sich die Planer zu früh mit der Gestalt bzw. Form festlegen, ohne zuerst die Zusammenhänge und Wechselwirkungen, die auf den funktionalen Modellebenen abgebildet werden können, systematisch untersucht zu haben.

Oft konzentriert man sich auf die Form im Sinne des Konkreten, Greifbaren (Elemente und Struktur) und vernachlässigt dabei möglicherweise die eigentliche Verbindung zur Werterzeugung, nämlich die Funktion. (Haberfellner, Fricke, de Weck, & Vössner, 2012, S. 186) Albers stellt fest: Auch wenn Entwerfer über Funktion sprechen, denken sie oft im gleichen Zuge an eine geometrische oder physische Ausprägung, welche diese Funktion realisieren kann. (Albers & Wintergerst, The Contact and Channel Approach (C&C<sup>2</sup>-A): relating a system's physical structure to its functionality, 2013)

Dies führt zu Problemen bei der Überschaubarkeit des möglichen Lösungsraumes und beim Entwickeln einer optimalen Zuordnung von Funktionen zu anderen Entwurfsobjekten wie zum Beispiel räumlichen Einheiten oder Gebäudekomponenten. (von Both, 2006, S. 2) Als Konsequenz wird der System-Architekt am Erfüllen einer seiner grundlegenden Aufgaben – der Zuordnung von Funktionen zu Lösungselementen – gehindert. Darüber hinaus kann ohne ein systematisches Vorgehen zur Funktionsmodellierung eine funktionsbasierte, systematische Entwicklung von Lösungsvarianten nicht unterstützt und Optimierungspotentiale nicht funktionsorientiert und systematisch ausgeschöpft werden. Eine rechnergestützte, wissensbasierte Überprüfung der Funktionserfüllung von Lösungsvarianten kann nicht gewährleistet werden.

Es kommt zu ernsthaften Planungsproblemen, da die Funktionen, welche von dem Nutzer eigentlich verlangt werden, in einem systematischen Vorgehen nicht einbezogen werden können. Die vielfältigen thematischen Wechselwirkungen der zu bearbeitenden Problemstellungen, sind für die einzelnen Planer eines komplexen, interdisziplinären Systems, oft nicht mehr direkt nachvollziehbar. (von Both, 2006, S. 2)

Dies führt zu Kommunikationsbarrieren und Kenntnislücken im Entwicklungsprozess. Oft verwechseln Planer aus verschiedenen Bereichen verschiedene Modellebenen, ohne es zu bemerken. Dadurch kann es zu großen Kompatibilitätsproblemen der einzelnen erarbeiteten Teillösungen kommen. (von Both, 2006, S. 2) Von Both schreibt, dass die isolierte Betrachtung von getrennt optimierten „Insellösungen“ und die resultierende Defizite in der inhaltlichen Abstimmung oft zu mangelnder Planungsqualität hinsichtlich der übergeordneten Gesamtzielsetzung führen – *was eine Vielzahl gebauter Beispiele mangelhafter Kombination hochausgereifter Einzelkomponenten zeigen.* (von Both, 2006, S. 3)

## 1.2 Zielsetzung

Die Funktionenmodellierung ist in der Planungs- und Konstruktionsmethodik der Mechatronik ein wichtiger Ansatz, um Probleme systematisch zu analysieren, innovative Lösungen zu entwickeln und Optimierungspotentiale auszuschöpfen. Die Planungsmethodik der Architektur befasst sich ebenfalls mit einem funktionsorientierten Zugang zum architektonischen Entwurf, der neben die gestalt-, konstruktions- und kontextorientierten Zugängen einen wichtigen Stellenwert hat. Allerdings sind, wie im vorherigen Kapitel erläutert wurde, gewisse Defizite bezüglich der wissensbasierten, rechnergestützten Funktionenmodellierung im Bereich der architektonischen Konzeptplanungsmethodik, aber auch in der Planungsmethodik mechatronischer Systeme festzustellen.

Während in der Entwicklungsmethodik der Mechatronik bereits Forschungsergebnisse in der Form von wissensbasierten, rechnergestützten Funktionsmodellen erarbeitet wurden, fehlen entsprechende Modelle in der Architektur und der Funktionenbegriff wird oft unscharf für verschiedene Klassen von Entwurfselementen – Funktionen, Funktionenbereiche und in manchen Fällen sogar für Räume – verwendet. Umgekehrt kennt die Entwicklungsmethodik der Architektur verschiedene Funktionenarten wie z.B. Nutzungs- und Produktfunktionen, wogegen sich die Mechatronik vor allem auf die technischen Produktfunktionen fokussiert und die nutzungstechnologische Aspekte der Funktionsmodellierung größtenteils ausblendet.

Aus einer systemischen Perspektive heraus ist es erstrebenswert, diese Lücken in den Funktionsmodellebenen und in der systematischen Funktionsmodellierung zu schließen. Dabei können sich Forschungsergebnisse und Erkenntnisse aus verschiedenen Disziplinen wie Architektur und Mechatronik gegenseitig ergänzen und synergetisch unterstützen. Hierbei hat das Erarbeiten eines wissensbasierten Funktionsmodells für die frühen Planungsphasen von Industriebauwerken den Vorrang,

da dort, insbesondere im Teilbereich der Architektur, aus modelltechnischer Sicht die Defizite am größten sind.

Es stellt sich die Frage, ob Modellierungsmethoden aus der Mechatronik auf die Architektur übertragbar sind und zur Abbildung von Problemen und Lösungen aus der Architektur dienen können. In diesem Fall könnten sie eine Ausgangsbasis zum Erarbeiten eines Funktionsmodells zur Industrieplanung darstellen. Darüber hinaus gibt es im Bereich der Architektur bereits Forschungsarbeiten, die auf die Modellebenen der Nutzungs- und Produktfunktionen eingehen, wenn auch ohne detaillierte, wissensbasierte Funktionsmodelle. Ein wohldefiniertes Nutzungsfunktionsmodell zur Industrieplanung kann in späteren Forschungsarbeiten als Grundlage zum Erarbeiten eines Nutzungsfunktionsmodells für die Mechatronik dienen. Daraus leitet sich die folgende *Aufgabenstellung* ab:

*Im Rahmen dieser Arbeit sollen die Grundlagen für eine wissensbasierte Funktionsmodellierung für die Industrieplanung untersucht, Defizite ermittelt, neue Funktionenmodellierungskonzepte entwickelt, und geeignete, übertragbare Funktionenmodellierungskonzepte aus anderen Disziplinen in die Industrieplanung transferiert und weiterentwickelt werden. Die Fragestellung, ob und wie mit einer wissensbasierten Funktionenmodellierung Probleme, innovative Lösungen und Optimierungspotentiale in der Planung von Industriebauwerken abgebildet werden können, soll untersucht werden.*

### *Zielgruppen*

Hierbei soll sich der Lösungsansatz vordergründig an zwei Zielgruppen richten. Die erste Gruppe setzt sich aus Benutzern zusammen, die ihren Schwerpunkt auf der Nutzungstechnologie bzw. auf dem architektonischen Nutzungskonzept und den Nutzungsfunktionen legen. Zur zweiten Gruppe gehören Benutzer, die einen stärkeren Fokus auf der Produkttechnologie bzw. auf den Produktfunktionen legen. Im Folgenden werden diese zwei Gruppen vereinfachend als Architekten und Fachplaner bezeichnet.

Ausgehend von diesen beiden Zielgruppen, können folgende übergeordnete Ziele festgelegt werden:

- Einen rechnergestützten, modellbasierten Wissensaustausch über die funktionalen Aspekte der Industrieplanung zwischen den beteiligten Akteuren – Fachplaner und Architekten – zu ermöglichen.
- Wissenschaftliche Grundlagen zur funktionsorientierten Katalogisierung und Wiederverwendbarkeit des funktionalen Wissens der Fachplaner zu erarbeiten, so dass Architekten auf existierenden produkttechnologischen Modelle der

Fachplaner zurückgreifen können. Dadurch soll bereits in einer frühen Planungsphase eine integrale Planung der nutzungs- und produkttechnologischen Aspekte ermöglicht werden.

- Sensibilisierung der beteiligten Akteure (Architekten, Bauherren, Wirte, Ingenieure, Küchenmeister usw.) für die Komplexität der funktionalen Vernetzung und Motivation zur früheren Abstimmung mit den entsprechenden Fachdisziplinen.
- Eine systematische, modellbasierte und funktionenorientierte Umsetzung des architektonischen Nutzungskonzepts durch die Gebäudetechnik zu ermöglichen.
- Bessere Qualität der Planung der funktionalen Vernetzung von Nutzungs- und Produkttechnologie durch rechnerverarbeitbare und verifizierbare Modellierung der funktionalen Zusammenhänge. Es soll ein Beitrag zu einer systematischen, modellbasierten Darstellung, Verarbeitung und Austausch von funktionenbezogenen Informationen
  - zwischen den Ebenen der Nutzungs- und Produkttechnologien und
  - unter den verschiedenen Fachdisziplinen

geleistet werden. Hierbei ist es essentiell, für die verschiedenen Zielgruppen – Architekten und Fachplaner – geeignete Granularitätsstufen der Informationen (Skalierbarkeit) und entsprechende Darstellungsformen zu erarbeiten. Die in dieser Arbeit zu erarbeitenden Konzepte sollen über die verschiedenen Fachdisziplinen und Skalierungsgrade hinweg einsetzbar sein.

Aus den Zielgruppen und den übergeordneten Zielen lassen sich folgende *operative Ziele* ableiten:

*Ziel 1: Entwicklung eines Funktionenmodells zur vernetzten, wissensbasierten Modellierung in der Industrieplanung. Hierbei soll das implizite Wissen der Architekten über das Nutzungskonzept/Nutzungstechnologie, sowie das implizite Wissen der Fachplaner über technische funktionale Zusammenhänge explizit und modellbasiert dargestellt werden.*

Die Funktionenbeschreibung in der Form eines formalisierten Funktionenmodells verbindet die Aufgabenstellung mit den topologischen, geometrischen, räumlichen und technischen Modellen. Das zu erarbeitende Funktionenmodell soll die Vernetzung der Teilmodelle auf verschiedenen Abstraktions- und Modellebenen, sowie einen fließenden Übergang zwischen ihnen, ermöglichen. Hierbei soll eine systematische Lösungssuche mit Hilfe eines lösungsneutralen, aber aussagekräftigen Funktionsmodells unterstützt werden.

Das Funktionsmodell soll eine wissensbasierte, rechnerverarbeitbare Kommunikationsgrundlage für funktionale Sachverhalte und Zusammenhänge in der Industrieplanung für alle Beteiligten darstellen. Hierbei soll zwischen den verschiedenen Ar-

ten von Funktionen, die für den architektonischen und technischen Entwurf relevant sind, unterschieden werden. Darüber hinaus soll zwischen Funktionen auf der einen Seite und topologischen, geometrischen oder technischen Objekten, welche die Funktionen realisieren, auf der anderen Seite, klar differenziert werden. Es sollen entsprechende rechnerinterne Modelle konzipiert werden, welche eine konzeptuelle Grundlage für zukünftige Softwaretoolentwicklungen für rechnergestützte Funktionenmodellierung und entsprechenden Anwendungen darstellen können.

*Ziel 2: Entwicklung eines systematischen Vorgehens zur Funktionenmodellierung der nutzungs- und produkttechnologischen Aspekten von Bauwerken in der Industrieplanung*

Es soll ein systematisches Vorgehen zur Funktionssynthese in der Industrieplanung entwickelt werden, welches es dem Planer ermöglicht, aus einer abstrakten, unscharfen und möglicherweise widersprüchlichen Aufgabenstellung heraus, ein konkretes, realisierbares, funktionales Konzept in Form eines Funktionenmodells auszuarbeiten. Dabei soll geklärt werden, durch welche Modellierungsschritte der Planer zu den verschiedenen Funktionen und Funktionenstrukturen gelangt und welche Informationen hierfür notwendig sind.

Das zu erarbeitende systematische Vorgehen soll eine methodische Analyse von funktionalen Aspekten und Synthese von Funktionenmodellen in der Konzeptplanung unterstützen, wobei die Entwicklung von Funktionenstrukturen losgelöst von der Entwicklung ihrer Realisierung durch anderen Entwurfsobjekten stattfinden soll.

Durch die methodische Vorgehensweise soll eine möglichst vollständige und korrekte Abbildung der funktionalen Aspekte des zu entwerfenden Industriebauwerks unterstützt werden. Das systematische Vorgehen soll die modellbasierte, funktionsorientierte Entwicklung von sinnvollen Lösungsvarianten unter Einbeziehung der relevanten Abstraktions- und Modellebenen unterstützen. Mit Hilfe des Funktionenmodells und der Modellierungsnotation soll ein Evaluieren der erarbeiteten Lösungen am geplanten Nutzungszweck unterstützt werden.

*Ziel 3: Verifikation der Abbildbarkeit von funktionalen Problemen und Lösungen in der Konzeptplanung mechatronischer Systeme*

Die in dieser Arbeit zu entwickelnden Funktionsmodelle, sowie das systematische Vorgehen zur Funktionsmodellierung mechatronischer Systeme sollen anhand von Modellierungsbeispielen auf den relevanten Modellebenen verifiziert werden. Der Schwerpunkt dieser Verifikation soll auf der Abbildbarkeit von funktionalen Problemen und Lösungen in der Industrieplanung liegen und nicht auf die eigentliche Entwicklung von Industriebauwerken. Deswegen sollen Entwurfsbeispiele aus der

Fachliteratur zur Planung von Industriebauwerken mit klar umrissenen Problemen und Lösungen zur Verifikation der Konzepte herangezogen werden. Durch die Abbildung dieser Beispiele soll gezeigt werden, ob und wie funktionale Probleme und Lösungen in der Planung von Industriebauwerken korrekt abgebildet und explizit dargestellt werden können, sowie auf welcher Art und Weise ein systematisches Arbeiten mit ihnen gestaltet werden kann.

### 1.3 Nutzen

Auf Grundlage dieser Arbeit können die komplexen, funktionenbezogenen Wechselwirkungen zwischen architektonischer Planung (Nutzungstechnologie) und technischer Ausstattung (Produkttechnologie) bereits in einer frühen, konzeptionellen Phase modelliert und systematisch untersucht werden. Derartige funktionsorientierten Analysen können sich in vielen Hinsichten als nützlich erweisen:

- Systematische, funktionenorientierte Optimierung des Flächenbedarfs unter Berücksichtigung der Nutzungs- und Produktfunktionen
- Automatisierte funktionenorientierte Konsistenzprüfung von architektonischen und fachplanerischen Modellen
- Rechnergestützte Bibliotheken von wiederverwendbaren fachplanerischen Lösungsmustern, die mit Nutzungsfunktionen verknüpft sind – funktionsorientierter „Konstruktionskatalog“ mit der Nutzungsfunktion als Schlüssel.
- Rechnergestützte, integrale Synthese von Lösungen auf Grundlage der Nutzungsfunktionen.

Eine der wichtigsten Voraussetzungen für ein effizientes Arbeiten mit komplexen Funktionenmodellen ist eine integrierte Rechnerunterstützung der einzelnen Arbeitsschritte der Funktionenanalyse und –Synthese, sowie der weiteren Entwurfschritte. Die in dieser Arbeit entwickelten Modelle und Vorgehensweise zur multi-skalierbaren Funktionenmodellierung in der Industrieplanung können als integriertes Konzeptmodell zur Entwicklung von ebensolchen Softwarewerkzeugen verwendet werden.

Durch intelligenter Rechnerunterstützung und Automatisierung können Architekten auch ohne tiefgehendes fachplanerisches Wissen über Küchenplanung oder andere Fachbereichen die funktionenbezogenen Wechselwirkungen zwischen der architektonischen Planungsebene und der Fachplanungsebene in einer frühen Phase in ihrer Planung einbeziehen.

Fachplaner können ihr Fachwissen systematisch und modellbasiert sowohl mit Architekten als auch mit weiteren Gewerken teilen und wiederverwenden, und rechnergestützt auf funktionellen Inkonsistenzen prüfen, oder die Ursachen für solche Inkonsistenzen finden. Das führt zu einer besseren Sichtbarkeit der Komplexität der

Planungsaufgabe und zur Verbesserung der Vernetzung zwischen den verschiedenen Fachdisziplinen. Damit wird der modellbasierte Austausch von planerischem Wissen aktiv unterstützt, welcher zur Vermeidung von Missverständnissen und Versäumnissen führt, die ansonsten viel später entdeckt und mit wesentlich höheren Kosten und Aufwänden verbunden würden.



## 2 Grundlagen

### 2.1 Entwicklungsmethodiken

#### 2.1.1 Systems Engineering

*Systems Engineering (SE)* ist eine auf systemtechnischen Denkmodellen und Prinzipien basierende Methodik zur zweckmäßigen und zielgerichteten Gestaltung komplexer Systemen, die Kreativität und Intuition methodisch zur Erreichung der Ziele einsetzt. (von Both, 2006, S. 19), (Daenzer, 1988) Das Ziel der *SE-Methodik* ist die Unterstützung bei der Bearbeitung von Problemen, gleichgültig welcher Art diese Probleme sind. Als Problem wird dabei die Differenz zwischen dem, was vorhanden ist (=IST) und der Vorstellung von einem SOLL definiert. Der *Problemlösungsprozess* des SE umfasst die *Systemgestaltung* und das *Projektmanagement*. Die Systemgestaltung gliedert sich in die *Architektur- und Konzeptgestaltung*. (Haberfellner, Fricke, de Weck, & Vössner, 2012, S. 27)

Das *Vorgehensmodell* des SE enthält eine Reihe von Vorgehensempfehlungen und -richtlinien, die sich in der Praxis bewährt haben und einen wesentlichen Bestandteil der SE-Methodik darstellen. Dem Vorgehensmodell liegen vier Grundgedanken zugrunde, die als kombiniert zu verwendende Komponenten betrachtet werden sollen: (Haberfellner, Fricke, de Weck, & Vössner, 2012, S. 57)

- Vorgehensweise *vom Groben zum Detail* und nicht umgekehrt – sie geht vom Blackbox-Prinzip aus und bringt die schrittweise Auflösung einer Blackbox in Grey- und Whiteboxes mit unterschiedlichen Graustufen zum Ausdruck. (Haberfellner, Fricke, de Weck, & Vössner, 2012, S. 59)
- Beachtung des *Denkens in Varianten* – sich nicht mit der erstbesten Variante zufriedenzustellen, sondern systematisch nach Alternativen zu suchen. Die verschiedenen Lösungsprinzipien kann man als verschiedene Varianten einer System-Architektur verstehen. Man sollte demnach das Lösungsprinzip einer Lösungsidee systematisch untersuchen und nach Alternativen fragen, bevor man anfängt, diese im Detail auszuarbeiten. (Haberfellner, Fricke, de Weck, & Vössner, 2012, S. 61)
- *Phasenablauf* – der Prozess der Systementwicklung und –Realisierung wird nach zeitlichen Gesichtspunkten gegliedert.
- *Problemlösungszyklus* – bei der Lösung von Problemen, unabhängig von ihrer Art und von der Phase, in welcher sie auftreten, eine Arbeitslogik als formalen Vorgehensleitfaden anzuwenden.

### 2.1.1.1 Phasenmodell des Systems Engineering

Die Gliederung der Entwicklung und Realisierung einer Lösung in einzelnen Phasen als Makro-Logik hat den Zweck, den Werdegang einer Lösung in überschaubare Etappen zu gliedern, und ermöglicht damit einen stufenweisen Planungs-, Entscheidungs- und Konkretisierungsprozess. Hierbei ist zwischen den *Lebensphasen* einer Lösung und den *Projektphasen* zu. (Haberfellner, Fricke, de Weck, & Vössner, 2012, S. 65) Im Folgenden werden die Projektphasen kurz erläutert.

Die *Anstoßphase* ist eher unstrukturiert. Sie umfasst die Zeitspanne zwischen dem Empfinden eines Problems und dem Entschluss, etwas Konkretes zu unternehmen, z.B. eine geordnete Untersuchung in Form einer Vorstudie zu starten. Maßgebend ist hierbei, dass der Anstoß von einer Person oder Instanz akzeptiert wird, welche die Kompetenz hat, konkrete Aktionen in Gang zu setzen – z.B. einen Projektauftrag zu erteilen und die Ressourcen für die Projektdurchführung zu bewilligen. (Haberfellner, Fricke, de Weck, & Vössner, 2012, S. 66)

Der Zweck der *Vorstudie* besteht darin, mit vertretbarem Aufwand zu klären, welche Grenzen der Untersuchungsbereich haben soll, worin das Problem besteht, ob das richtige Problem angegangen wird, welchen Anforderungen die Lösung genügen soll, welche Lösungsprinzipien grundsätzlich denkbar sind und ob diese realisierbar sind, welches Lösungsprinzip das vielversprechendste ist, ob eine bestehende System-Architektur weiterverwendet werden kann, oder eine neue Architektur notwendig ist. (Haberfellner, Fricke, de Weck, & Vössner, 2012, S. 67)

Der Zweck der *Hauptstudie* besteht darin, auf der Basis des in der Vorstudie gewählten Lösungsprinzips – Systemarchitektur, Rahmenkonzept – die nächste Stufe der Konkretisierung der Struktur des Gesamtsystems einzuleiten. Es entstehen hierbei Gesamtkonzeptvarianten, die eine fundierte Beurteilung der Funktionstüchtigkeit, Zweckmäßigkeit und Wirtschaftlichkeit usw. ermöglichen sollen. Man konzentriert sich nun auf den Aufbau der Lösung selbst. (Haberfellner, Fricke, de Weck, & Vössner, 2012, S. 69)

In der Phase der *Detailstudien* behandelt man nicht mehr das Gesamtsystem, sondern Untersysteme oder Systemaspekte, die aus dem Gesamtkonzept zur zeitbegrenzten Untersuchung herausgegriffen wurden. Der Zweck der Detailstudien ist es, detaillierte Lösungskonzepte zu erarbeiten und Entscheidungen über Gestaltungsvarianten zu treffen, und die einzelnen Teillösungen soweit zu konkretisieren, dass sie anschließend möglichst reibungslos gebaut und eingeführt werden können. (Haberfellner, Fricke, de Weck, & Vössner, 2012, S. 70)

Zweck des *Systembaus* ist der Bau von Lösungen – das Errichten von Gebäuden und Anlagen, das Herstellen von Produkten (Maschinen, Geräten, Prototypen), das Herstellen von Software und Dokumentation und Ähnliche. Behandelte Objekte sind hierbei Teil- oder Gesamtlösungen, die einführungsreif gemacht werden sollen. Besonders wichtig können Tests oder Erprobungen vor der Einführung sein.

Bei großen und komplexen Systemen sollte die *System-Einführung* nicht schlagartig, sondern stufenweise durchgeführt werden. Man geht in solchen Fällen von einem Gesamtkonzept der Einführung aus, macht aber die detaillierte Einführung weiterer Stufen von den ersten Einführungserfahrungen abhängig. Von besonderer Bedeutung ist eine ausreichende Schulung der Anwender, Betreiber bzw. Nutzer. (Haberfellner, Fricke, de Weck, & Vössner, 2012, S. 71)

Die Abschlussphase kommt nach der ordnungsgemäßen Übernahme einer Lösung durch den Auftraggeber. Es sind nun eine Reihe von Abschlussarbeiten durchzuführen, wie Abrechnung, „lessons learned“, Auflösen der Projektgruppe usw. (Haberfellner, Fricke, de Weck, & Vössner, 2012, S. 72)

#### 2.1.1.2 Problemlösungszyklus des Systems Engineering

Während das oben beschriebene Phasenmodell für die Makro-Logik zuständig ist, wird für die Mikro-Logik des Systems Engineering der Problemlösungszyklus eingesetzt. Letzterer soll beim Auftreten von Problemen in jeder Projektphase angewendet werden. Der Problemlösungszyklus hat drei wichtige Schwerpunkte: (Haberfellner, Fricke, de Weck, & Vössner, 2012, S. 74)

- Zielsuche bzw. Zielkonkretisierung: Wo stehen wir? Was brauchen wir? Warum?
- Lösungssuche: Welche Möglichkeiten gibt es?
- Auswahl: Welche ist die beste/zweckmäßigste Möglichkeit?

Der *Anstoß* ist als Auslöser zu verstehen, der die Arbeitslogik in Gang setzt. (Haberfellner, Fricke, de Weck, & Vössner, 2012, S. 74) Die *Situationsanalyse* befasst sich mit der Untersuchung der Ausgangssituation und der Aufgabenstellung – sie zu klären, zu verstehen und die Grundlage zur konkreten Zieleformulierung zu schaffen. (Haberfellner, Fricke, de Weck, & Vössner, 2012, S. 75) Die Ergebnisse der Situationsanalyse dienen als Informationsquelle für die *Zielformulierung*. Der Zweck der Letzteren ist die systematische Zusammenfassung der Absichten, die der Lösungssuche zugrunde gelegt werden sollen. Die Zieleformulierung sollte lösungsneutral, vollständig, präzise, verständlich, und realistisch sein. (Haberfellner, Fricke, de Weck, & Vössner, 2012, S. 77) Die *Synthese von Lösungen* ist der konstruktive, kreative Schritt im Problemlösungszyklus. (Haberfellner, Fricke, de Weck, & Vössner, 2012, S. 78) Während die Synthese als aufbauend-konstruktiver Schritt bezeichnet werden kann, ist die *Analyse von Lösungen*

der kritische, *analytisch-destruktive* Schritt im Problemlösungszyklus. (Haberfellner, Fricke, de Weck, & Vössner, 2012, S. 78) Der Zweck der *Bewertung* besteht darin, taugliche Lösungsvarianten einander systematisch gegenüberzustellen, um die am besten Geeignete festzustellen. (Haberfellner, Fricke, de Weck, & Vössner, 2012, S. 80) Der Zweck der *Entscheidung* ist es, die weiter zu bearbeitende Lösungsvariante mit Hilfe der Bewertungsergebnisse festzulegen. (Haberfellner, Fricke, de Weck, & Vössner, 2012, S. 80) Das *Ergebnis* kann darin bestehen, dass eine zufriedenstellende Lösung gefunden werden konnte, die entweder als *Anstoß* für die nächste Projektphase dienen, oder nun realisiert werden kann. (Haberfellner, Fricke, de Weck, & Vössner, 2012, S. 80)

### 2.1.1.3 Architekturgestaltung des Systems Engineering

Die Begriffe Architektur und Architekturgestaltung – Fahrzeug-, IT-, Hardware- oder Softwarearchitektur – werden in vielen Disziplinen verwendet. Dabei wird dieser Begriff entweder nicht definiert oder mit dem der Struktur gleichgesetzt. In diesem Fall stellt sich aber die Frage, wozu der zusätzliche Begriff der Architektur notwendig ist. (Haberfellner, Fricke, de Weck, & Vössner, 2012, S. 183)

*Der Architekturbegriff kennzeichnet etwas über die Struktur Hinausgehendes – die Zuordnung von Funktionen zu Elementen einer Struktur.* Damit kann die Architektur eines Systems als ein bestimmtes Lösungsprinzip gesehen werden, welches den Vorgang der Gestaltung von Systemen ins Blickfeld rückt. Eine Architektur wird als gut empfunden, wenn sie ausbaufähig, anpassbar und robust ist. (Haberfellner, Fricke, de Weck, & Vössner, 2012, S. 183)

Die *Architekturgestaltung* ist der erste Schritt im Prozess der *Systemgestaltung*, in dem die grundlegende Architektur eines Systems im Sinne eines bestimmten Lösungsprinzips festgelegt wird. Mit der Wahl der Architektur werden wichtige Eigenschaften eines Systems vorbestimmt: das Ausmaß der Funktionserfüllung, Änderungsmöglichkeiten, Möglichkeiten zur Variantenbildung, die optimale Entwicklungsorganisation und andere. (Haberfellner, Fricke, de Weck, & Vössner, 2012, S. 185)

Das Ziel einer Architekturgestaltung ist stets, eine Architektur zu entwickeln, die einen zuvor definierten Wert bzw. *Zweck* erfüllt. Als *Zweck* kann man dabei die nützliche *Funktion* bezeichnen, die ein System im Rahmen seiner Umwelt ausübt bzw. ausüben soll. (Haberfellner, Fricke, de Weck, & Vössner, 2012, S. 187) Hierbei ist es wichtig, Funktion und Form einer Architektur zu unterscheiden:

- Funktion meint das, was das System tut und damit den Nutzen, den Wert, den eine Lösung bzw. ein Lösungsansatz bringen soll. (Haberfellner, Fricke, de Weck, & Vössner, 2012, S. 185)
- Die Form ist gewissermaßen der konkrete Träger der Funktion. (Haberfellner, Fricke, de Weck, & Vössner, 2012, S. 185)

- Die Elemente und deren Anordnung zueinander (Struktur) stellen die Form dar. (Haberfellner, Fricke, de Weck, & Vössner, 2012, S. 185)

Die funktionale Betrachtung des Systems ist damit der zentrale Ausgangspunkt der Architekturgestaltung, sie legt Zweck und Wert des Systems fest. (Haberfellner, Fricke, de Weck, & Vössner, 2012, S. 185)

- Eine Funktion kann nicht ohne Form implementiert werden.
- Eine Form ohne Funktion erzeugt keinen Wert.

### *Diskussion*

Systems Engineering legt ein generisches, disziplinunabhängiges Vorgehensmodell zur Lösungsfindung komplexer Systeme fest. Als solches deutet es auf Gemeinsamkeiten bei der Planung und Konstruktion von Produkten aus verschiedenen Bereichen hin, die unter anderem Architektur und Mechatronik einschließen. Wie aus den folgenden Kapiteln ersichtlich wird, finden sich viele der Grundsätze des SE, und insbesondere das phasenorientierte Vorgehensmodell und die funktionenorientierte Architekturgestaltung, in verschiedenen Planungsmethodiken wieder. Wegen des generischen Charakters des SE legt es keine disziplinspezifischen Modelle und Vorgehensweisen fest. Diese sind Gegenstand der entsprechenden Planungs- und Konstruktionstheorien, die in den folgenden Kapiteln vorgestellt werden.

#### 2.1.2 Systemisches Projektmodell für eine kooperative Planung komplexer Unikate (SyProM)

SyProM ist ein auf systemischen Ansätzen aufbauendes Projektmodell für Unikatentwicklungen im Baubereich. In diesem Projektmodell verschmelzen die Management- und Planungsmethodiken zu einer integrierten Kooperationsmethodik. SyProM stellt eine Art Baukasten dar, der die zur Koordination und kooperativen Durchführung eines Projektes notwendigen Elemente und deren Strukturen enthält. (von Both, 2006, S. 411)

Laut von Both ist der Entwurfsprozess als ein Entwickeln, Gegenüberstellen und Abwägen verschiedener funktionaler Anforderungen zu sehen und führt, wie weiter unten beschrieben, zu einer Überlagerung unterschiedlicher Funktionenstrukturen. (von Both, 2006, S. 298). Sie identifiziert die projektrelevanten Funktionentypen: Nutzer- und Objektfunktionen. (von Both, 2006, S. 118, 127) Die Produktentwicklung bzw. die Objektplanung stellt eine eigene Lebenszyklusphase im systemtechnischen, lebenszyklusorientierten Vorgehensmodell. Diese Lebenszyklusphase wird ihrerseits in mehreren Projektphasen unterteilt: (von Both, 2006, S. 293)

- Strategische Planung

- Konzeptplanung
- Entwurfsplanung
- Detailplanung

Das bei (VON BOTH, 2006, S. 293) beschriebene Vorgehen (s. Abbildung 1) beinhaltet eine schrittweise Konkretisierung des Planungsgegenstandes vom Abstrakten zum Konkreten, wobei die funktionale Betrachtungsweise und die Modellierung von Funktionsstrukturen eine zentrale Rolle spielen, da eine gesamtheitliche Herangehensweise und ganzheitliche Optimierungen im Vordergrund stehen.

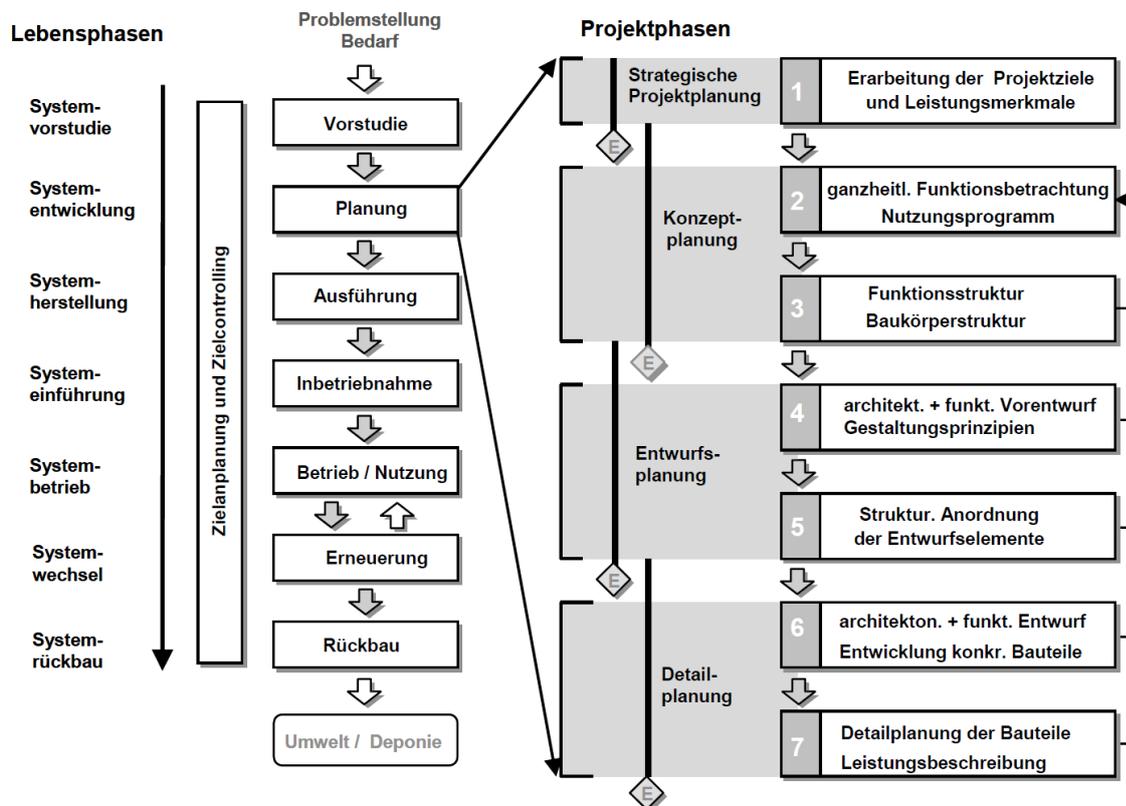


Abbildung 1: Lebenszyklusorientiertes Vorgehensmodell aus (VON BOTH, 2006, S. 293)

Die strategische Planung legt die Projektziele und Leistungsmerkmale fest. Die weiteren Phasen – Konzept-, Entwurfs- und Detailplanung – befassen sich u. A. mit der ganzheitlichen Funktionsbetrachtung, architektonischen und funktionellen Vorentwurf und mit dem architektonischen und funktionellen Entwurf. (VON BOTH, 2006, S. 293)

(von Both, 2006) identifiziert in Kapitel 4.2.3 die projektrelevanten Funktionstypen: Nutzer- und Objektfunktionen. Basierend darauf, nimmt die Projektphase der Konzeptplanung Bezug zu diesen beiden Funktionstypen.

In einem ersten Schritt werden nutzungsbezogene Funktionenbereiche, z.B. „Büroarbeit“ oder „Wohnen und Aufenthalt“, sowie deren funktionale Vernetzung erarbeitet (s. Abbildung 2). Nutzungsbezogene Funktionenbereiche und Nutzungsfunktionen werden hier z.T. synonymisch verwendet. (von Both, 2006, S. 293)

Im zweiten Schritt werden die sog. Gebäudefunktionen (Produktfunktionen) identifiziert und miteinander vernetzt. Bei (von Both, 2006) können Produktfunktionen neben technische auch ökonomische Funktionen umfassen. Technische Funktionen werden auf der Abstraktionsebene der allgemeinen Funktionsstruktur modelliert – mit den entsprechenden Funktionsverben wie „speichern“ oder „leiten“ und den drei allgemeinen Funktionsflussgrößen Energie, Materie und Information. (von Both, 2006, S. 295)

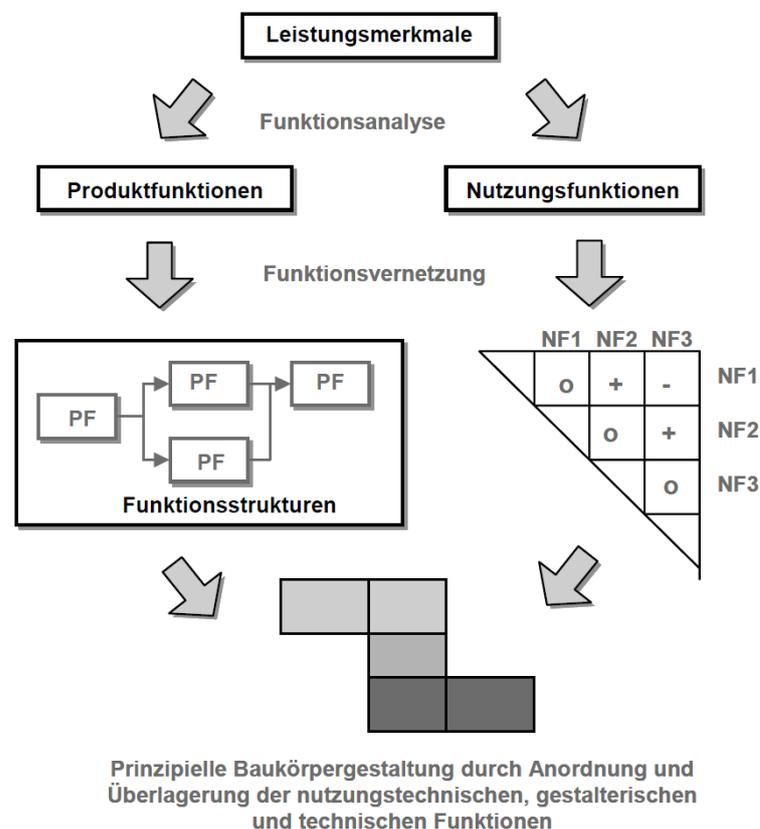


Abbildung 4.7-3: Arbeitsschritte der Konzeptplanung

Abbildung 2: Arbeitsschritte der Konzeptplanung aus (von Both, 2006, S. 296)

Produktfunktionsstrukturen werden, wie aus der Entwurfsmethodik der Mechatronik und Systemtechnik bekannt, als Funktionsflussstrukturen dargestellt. Nutzungsfunktionsstrukturen werden dagegen als Verknüpfungsmatrizen dargestellt, (von

Both, 2006, S. 295-296) woraus ein wesentlich reduzierter Informationsgehalt der Nutzungsfunktionsstrukturen im Vergleich zu Flussstrukturen resultiert – es gibt keine Möglichkeit, Flussgrößen, Realisierungsobjekte usw. zu modellieren.

Diese Schritte – die Nutzungs- und Produktfunktionsmodellierung – resultieren in einer ersten Anordnung und Überlagerung der nutzungstechnischen, gestalterischen und technischen Funktionen. Hier werden bereits Anordnungsüberlegungen durchgeführt, welche zu einer ersten Baukörpergestaltung führen – einer Beschreibung der grundsätzlichen Lage und Anordnung der funktionalen Entwurfselemente als grobe Baukörperstruktur (s. Abbildung 2). (von Both, 2006, S. 296)

Die Überlagerung von Nutzungs- und Produktfunktionen spielt hierbei eine zentrale Rolle. Es bleibt jedoch offen, wie die beteiligten Funktionsstrukturen und insbesondere die Nutzungsfunktionsstruktur, die sich auf verschiedenen Granularitätsebenen befinden und durch unterschiedlichem Informationsgehalt gekennzeichnet werden, im Detail überlagert werden können.

Das Ergebnis der Überlagerung besitzt bereits topologische Eigenschaften, da Nutzungsfunktionen und Nutzungsfunktionsbereiche synonymisch benutzt werden. In dieser Arbeit soll untersucht werden, ob und wie eine rein funktionale Überlagerung von Nutzungs- und Produktfunktionen, frei von topologischen bzw. jeglichen räumlichen Merkmalen, eine vorteilhaftere methodische Alternative darstellen kann. In einem solchen Fall würde die Betrachtung von topologischen oder räumlichen Merkmalen erst in einem nachgelagerten Schritt geschehen. (von Both, 2006, S. 296)

### *Phase der Entwurfsplanung*

Die Projektphase der Entwurfsplanung benutzt die erarbeiteten *Funktionsstrukturen* und deren *Überlagerung* als Grundlage für die weiteren Konkretisierungsschritte. Als Erstes wird ein *gestalterischer Vorentwurf* auf Grundlage der *Nutzungsfunktionen* durchgeführt. Mithilfe des aus der Entwurfsmethodik der Mechatronik bekannten *morphologischen Kastens* (s. Abbildung 3) werden hier die Funktionen der Konzeptphase in *Gestaltungs- und Konstruktionsprinzipien* überführt. Diese können in *geometrische Beziehungen* zueinander gestellt werden. Es werden räumliche *Baukörperstrukturen* entwickelt, welche auf den *topologischen Zusammenhängen* der *nutzungstechnischen Funktionsbereiche* der Konzeptphase aufbauen. Das Ergebnis dieser Entwicklung sind *Funktionsbereiche* und *Raumstrukturen*. (von Both, 2006, S. 297)

Funktions- analyse	Lösungsmöglichkeiten			
	Konstruktions- prinzip A	Konstruktions- prinzip B	Konstruktions- prinzip C	Konstruktions- prinzip D
Funktion 1	○			
Funktion 2			○	
Funktion 3		○		
Funktion 4				○

Abbildung 3: Funktionsanalyse – morphologischer Kasten, übernommen aus (von Both, 2006, S. 296)

In einem zweiten Schritt wird auf Grundlage der Produktfunktionen eine technische Vorentwurfsplanung durchgeführt. Hierbei werden Gestaltungs- und Konstruktionsprinzipien unter Berücksichtigung ihrer funktionalen Vernetzungen in einzelnen Gebäudekomponenten überführt. Es folgen Überlegungen zur Materialisierung der entwickelten funktionsrealisierenden Komponenten und eine Zuordnung zur räumlichen Gebäudestruktur. (von Both, 2006, S. 298)

#### *Phase der Detailplanung*

In dieser Phase werden die Nutzungs- und Produktfunktionen durch konkrete, geometrisch ausgeprägte Bauteile unter Berücksichtigung der Konstruktionsprinzipien realisiert, bzw. verwirklicht. Bauteile und Raumstruktur werden zusammengeführt. Somit werden die Entwurfsvorstellungen materialisiert. (von Both, 2006, S. 299)

Die folgende Abbildung fasst das SyProM-Vorgehensmodell mit seinen Planungsphasen- und Schritte zusammen. Daraus wird nochmals der hohe Stellenwert der Funktionsmodellierung für die Planung/Systementwicklung ersichtlich.

<b>SyProM-Vorgehensmodell</b> Operative Planungspakete	Planungsergebnisse	Projektphasen
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Analyse der Umgebungssysteme</li> <li>2. Erarbeitung der Projektstruktur</li> <li>3. Erarbeiten des Zielkonzeptes</li> <li>4. Strategische Projektplanung</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projektplanung auf Koordinationsebene</li> <li>• Zielsystem</li> <li>• Ablauf- und Aufbaustruktur</li> </ul>	Strategische Planung
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Erarbeiten von Nutzungsfunktionen</li> <li>2. Erarbeitung der Objektfunktionen</li> <li>3. Ermittlung von Gebäudevolumen und -situation</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nutzungsprogramm</li> <li>• Funktionsprogramm</li> </ul>	Konzeptplanung
<ol style="list-style-type: none"> <li>4. Architektonische Vorentwurfsüberlegungen durch maßstabslose Anordnungsüberlegungen gefundener Nutzungsstrukturen innen</li> <li>5. Funktionale Vorentwurfsüberlegungen durch maßstabslose Anordnungsüberlegungen gefundener Objekt-Funktionsstrukturen innen</li> <li>6. Baukörpergestaltung durch Lage und Gestalt der architektonischen und funktionalen Entwurfsselemente</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nutzungsstruktur</li> <li>• Funktionsstruktur</li> <li>• Baukörperstruktur</li> </ul>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Architektonischer Entwurf mit der Erarbeitung architektonischer Gestaltungs- und Entwurfsprinzipien</li> <li>2. Funktionaler Entwurf</li> <li>3. Entwicklung erster Materialisierungsvorstellungen</li> <li>4. Erarbeiten eines Ordnungssystem für räumliche Funktionsstruktur</li> <li>5. Erarbeitung der räumlichen Baukörperstruktur</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• „architektonischer„ Vorentwurf</li> <li>• „funktionaler“ Vorentwurf</li> <li>• architektonische und funktionale Gestaltungsprinzipien</li> <li>• Räumliche Struktur und Raster</li> </ul>	Entwurfplanung
<ol style="list-style-type: none"> <li>6. Ausarbeitung der Gestaltungsprinzipien und Konstruktionstypen der einzelnen Gebäudekomponenten und Berücksichtigung ihrer funktionalen Vernetzungen</li> <li>7. Entwicklung der konkreten Raumstruktur aus den nutzungsbezogenen Funktionsbereichen</li> <li>8. Entwickeln von Rastern aus gestalterischen Beziehungen unter Einbeziehung von Materialerfordernissen für die Gebäudekomponenten.</li> <li>9. Materialisieren der entwickelten Komponenten und Zuordnung zur Raumstruktur</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Struktur und Anordnung der Gebäudekomponenten</li> <li>• raumbezogener Gebäudebeschrieb (Raumstruktur)</li> </ul>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Materialisieren der Entwurfsvorstellungen</li> <li>2. Verwirklichen von Funktionen durch konkrete geometrisch ausgeprägte Bauteile unter Berücksichtigung der Konstruktionsprinzipien</li> <li>3. Zusammenführen von Bauteil und Raumstruktur</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• „architektonischer „ Entwurf</li> <li>• elementbezogener Gebäudebeschrieb</li> <li>• Werkplanung</li> </ul>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>4. Technische Planung und Detailgestaltung der einzelnen Bauteile</li> <li>5. Erstellen der Leistungsbeschriebe zur Erstellung der einzelnen Bauteile</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Detailplanung</li> <li>• Leistungsbeschreibung der Bauteile</li> </ul>	Detailplanung

Abbildung 4: SyProM-Vorgehensmodell, übernommen aus (von Both, 2006, S. 299)

Von Both gliedert die Entwurfsobjekte (Funktionen, Funktionsträger usw.) in zwei Ebenen: eine Räumliche und eine Elementbezogene (s. Abbildung 5). Auf der Ersteren befinden sich die Nutzungsfunktionen, die Funktionsbereiche und die Räume. Auf der elementbezogenen Ebene befinden sich die Objektfunktionen (Produktfunktionen), die Funktionsträger, die Konstruktionsprinzipien und die konkreten Bauteile. Diese Ebenen stellen eine nutzungstechnologische und eine technische Sicht auf das Produkt (bzw. Objekt) dar.

Die technische, bzw. elementbezogene Sicht ist auch in der Entwurfsmethodik der Mechatronik wohl bekannt. Entsprechende Entwurfsobjekte dort sind z.B. die allgemeinen/kanonischen/speziellen Funktionen, die Lösungs- /Wirkprinzipien, und die mechatronischen Komponenten.

Die nutzungstechnologische Sicht, welche auf der methodischen Modellierung von Nutzungsfunktionen basiert, ist in der Entwurfsmethodik der Mechatronik weniger ausgeprägt. Auch wenn die Nutzungstechnologie selbstverständlich bei mechatronischen Produkten eine wichtige Rolle spielt, ist die Abbildung und Berücksichtigung der Nutzungsfunktionen, bzw. der Bedürfnisse des Nutzers, für den architektonischen Entwurf von zentraler Bedeutung.

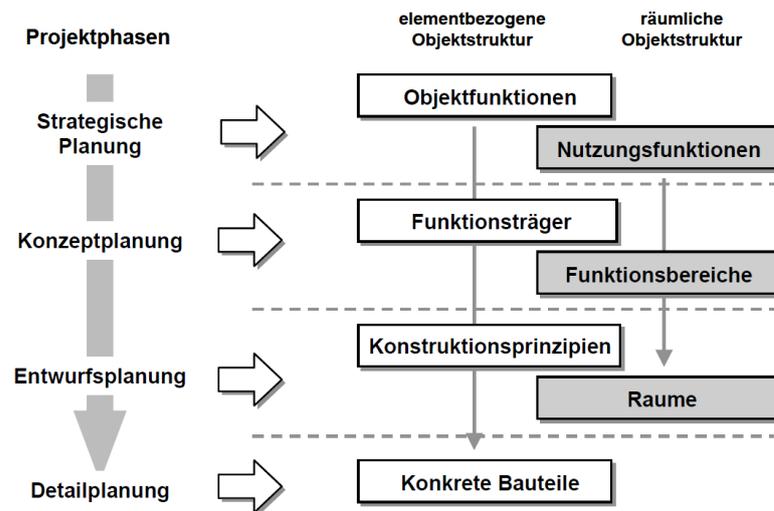


Abbildung 4.7-7: Konkretisierung des Objektes auf zwei Ebenen

**Abbildung 5: Konkretisierung des Objektes auf zwei Ebenen: räumlich und elementbezogen, aus (von Both, 2006, S. 302)**

### Diskussion

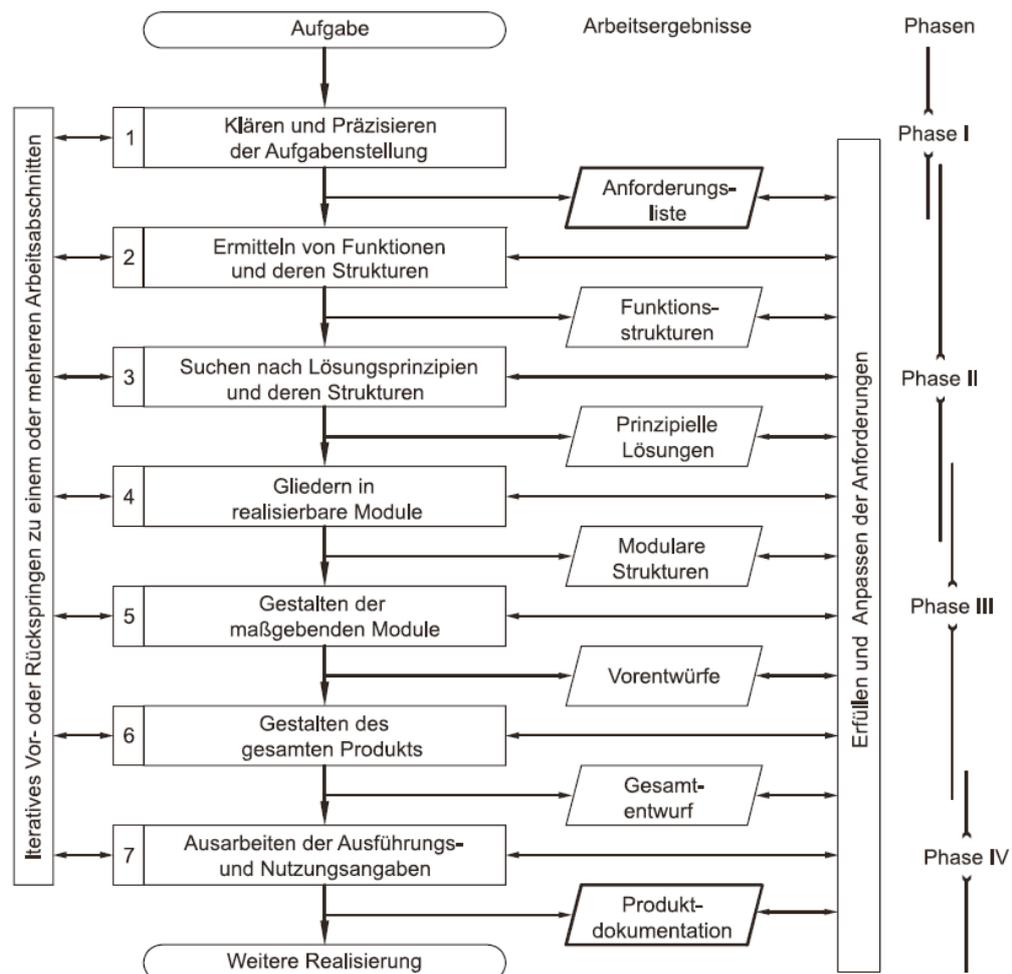
SyProM stellt durch seine systemische Sichtweise eine übergeordnete methodische Verknüpfung zwischen verschiedenen Bereichen dar. Somit bietet es eine Grundlage, auf welcher Funktionenmodellierungskonzepte aufgebaut und zwischen diesen Bereichen übertragen werden können. Besonders hervorzuheben ist die Identifikation von mehreren Modellebenen der Funktionen – Nutzungs-, Produkt- und Projektfunktionen. Die Konkretisierung des Objektes auf zwei Ebenen – elementbezogene und räumliche – zeigt die Verknüpfungen zwischen folgender Modellebenen auf: Nutzungsfunktionen und Funktionsbereiche, sowie Produktfunktionen (Objektfunktionen) und Funktionsträger (Systemkomponenten). Das lebenszyklusorientierte, phasenbasierte Vorgehensmodell des SyProM bietet den methodischen Rahmen, in welchem die in dieser Dissertation zu erarbeitende systematische Vorgehensweise zur Funktionenmodellierung architektonischer Systeme eingegliedert werden kann. Diese Arbeit kann als eine Konkretisierung der SyProM-Konzepte zur Funktionenmodellierung, insbesondere der Modellebenen der Nutzungs- und Produktfunktionen, sowie der Funktionsbereiche, bezeichnet werden.

### 2.1.3 Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte

Die wettbewerbsfähige Herstellung technischer Produkte wird entscheidend von der Leistungsfähigkeit des Entwicklungs- und Konstruktionsprozesses beeinflusst. Dieser ist gekennzeichnet durch eine große Vielfalt zu lösender Aufgabenstellungen, unternehmens- und projektspezifischen Randbedingungen, sowie Trends am globalen Markt. Eine über die verschiedenen Branchen hinweg – Maschinen-, Flugzeug, Schiffs- und Kraftfahrzeugbau – allgemein anwendbare Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte muss diese Vielfalt berücksichtigen. (VDI2221, 1993, S. 2)

In Deutschland wurden unterschiedliche Ansätze innerhalb der Konstruktionsmethodik von verschiedenen Autoren – Ehrlenspiel, Hansen, Hubka, Koller, Müller, Pahl und Beitz, Rodenacker und Roth ( (Ehrlenspiel, 1995), (Hansen, 1974), (Hubka & Eder, 1988), (Koller, 1994), (Müller, 1990), (Pahl & Beitz, 1993), (Rodenacker, 1976), (Roth, 2000)) – verfolgt. (von Both, 2006), (Huang, 2002) Die Richtlinien VDI 2221 und VDI 2222, bei deren Zusammenstellung Vertreter der einzelnen Schulen vertreten waren, fassen diese Arbeiten in einer Konsensform zusammen. (Huang, 2002, S. 9)

Das Vorgehensmodell der Dachrichtlinie VDI 2221 ist phasenbasiert und wird in sieben Schritten gegliedert (siehe Abbildung 6): Aufgabenklärung, Funktionenentwicklung, Prinzipfindung, Gestaltsmodellierung, endgültiger Ausarbeitung bzw. Detaillierung. (von Both, 2006, S. 32) Die Funktionenentwicklung erfolgt hierarchisch: Zunächst wird die Gesamtfunktion und danach deren Teilfunktionen ermittelt. Die Funktionen werden in Funktionenstrukturen eingegliedert, die als verbale Beschreibungen oder als formale Modelle spezifiziert werden und als Grundlage für die Lösungssuche dienen. (Huang, 2002, S. 10)



Generelles Vorgehen des methodischen Entwickelns und Konstruierens nach VDI 2221

**Abbildung 6: Generelles Vorgehen und Arbeitsschritte nach VDI 2221 und VDI 2222, übernommen aus (VDI2221, 1993, S. 9)**

### Diskussion

Das Vorgehensmodell des VDI 2221 bestimmt auf einer abstrakten Ebene, welche Ergebnisse aus den einzelnen Schritten resultieren sollen. Hierbei nehmen Funktionenstrukturen eine zentrale Stellung. Die Richtlinie lässt aber offen, wie diese Funktionenstrukturen im Sinne einer modell- und wissensbasierten Repräsentation konkret abzubilden sind. Darüber hinaus gibt die VDI 2221 keine konkrete, methodische Unterstützung zur schrittweisen Entwicklung der Funktionenstrukturen aus den Anforderungen. (Huang, 2002, S. 11) Diese Arbeit adressiert daher diese beide Themen: ein Funktionenmodell und ein konkretes, systematisches Vorgehen zur Funktionenmodellierung in der Konzeptplanung architektonische Systeme. Darüber hinaus

werden in VDI 2221 Möglichkeiten zur Rechnerunterstützung nicht mit einbezogen. Für eine praktische Anwendung der Funktionenmodellierung sind aber diese Aspekte wichtig. Deswegen wird in dieser Arbeit ein Informationsmodell der Konzepte vorgestellt, welches als Grundlage für softwaretechnische Implementierungen dienen kann.

### 2.1.4 Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme

Innovative Produkte erfordern ein interdisziplinäres Zusammenwirken von Maschinenbau, Elektrotechnik/Elektronik und Informationstechnik. Mechatronik – ein Kunstwort aus Mechanik und Elektronik – eröffnet neue Erfolgspotentiale für die Entwicklung neuer Produkte durch die enge, synergetische Integration von Maschinenbau, Elektronik und Informationstechnik. Dadurch werden neue Prinziplösungen möglich, die nicht nur das Kosten/Nutzen-Verhältnis vorhandener Produkte verbessern, sondern auch gänzlich neue Produkte möglich machen. (VDI2206, 2004, S. 2-3) Beispiele für solche Entwicklungen sind CD-Spieler, Werkzeugmaschinen mit Parallelkinematiken, Autofokuskameras, Fahrerassistenzsysteme (ABS, ESP, ASR etc.) in Fahrzeugen und viele mehr.

Die Richtlinie VDI 2206 ist ein Leitfaden zur systematischen Entwicklung mechatronischer Produkte, der aber die bestehenden VDI-Richtlinien (VDI 2221 und VDI 2422) für die einzelnen Disziplinen nicht ersetzt, sondern zusammenführt und ergänzt. Da ein kanonischer, allgemeingültiger Konstruktionsprozess, dem vom Planer und Konstrukteur in einem festen Ablaufplan gefolgt werden kann, nicht existiert, schlägt die Richtlinie ein flexibles Vorgehensmodell, das im Wesentlichen auf drei Elementen basiert: (VDI2206, 2004, S. 26)

- allgemeiner Problemlösungszyklus auf der Mikroebene
- V-Modell auf der Makroebene
- vordefinierte Prozessbausteine zur Bearbeitung wiederkehrender Arbeitsschritte bei der Entwicklung mechatronischer Systeme

Im Folgenden wird das V-Modell als Makrozyklus näher erläutert (siehe Abbildung 7), da sein Abstraktionsgrad dem des generellen Vorgehens der VDI 2221 entspricht. Das V-Modell wurde von der Softwareentwicklung übernommen und an die Mechatronik angepasst. (VDI2206, 2004, S. 26) Es beschreibt das generische Vorgehen beim Entwurf mechatronischer Systeme, welches fallbasiert konkretisiert werden muss. (VDI2206, 2004, S. 29)

Ausgangspunkt ist die *Aufgabenstellung*, die in Form von Anforderungen beschrieben wurde (siehe Abbildung 7). Darauf folgt der *Systementwurf*, dessen Ziel die Fest-

legung eines domänenübergreifenden Konzepts ist, welches die wesentlichen physikalischen und logischen Wirkungsweisen des zukünftigen Produktes beschreibt. Hierzu wird wie bei VDI 2221 die Gesamtfunktion des Systems in wesentliche Teilfunktionen zerlegt. Diese werden in Funktionenstrukturen verknüpft. Den einzelnen Funktionen werden geeignete Wirkprinzipien und Lösungselemente zugeordnet. Die Funktionserfüllung wird im Systemzusammenhang geprüft. (VDI2206, 2004, S. 30)

In der Phase des *domänenspezifischen Entwurfs* erfolgt auf Grundlage der erarbeiteten Funktionen- und Lösungsprinzipmodelle die weitere Konkretisierung. Dies geschieht meist getrennt in den beteiligten Ingenieurdisziplinen. Danach werden bei der *Systemintegration* die Ergebnisse aus den einzelnen Domänen zu einem Gesamtsystem integriert, um das Zusammenwirken untersuchen zu können. (VDI2206, 2004, S. 30)

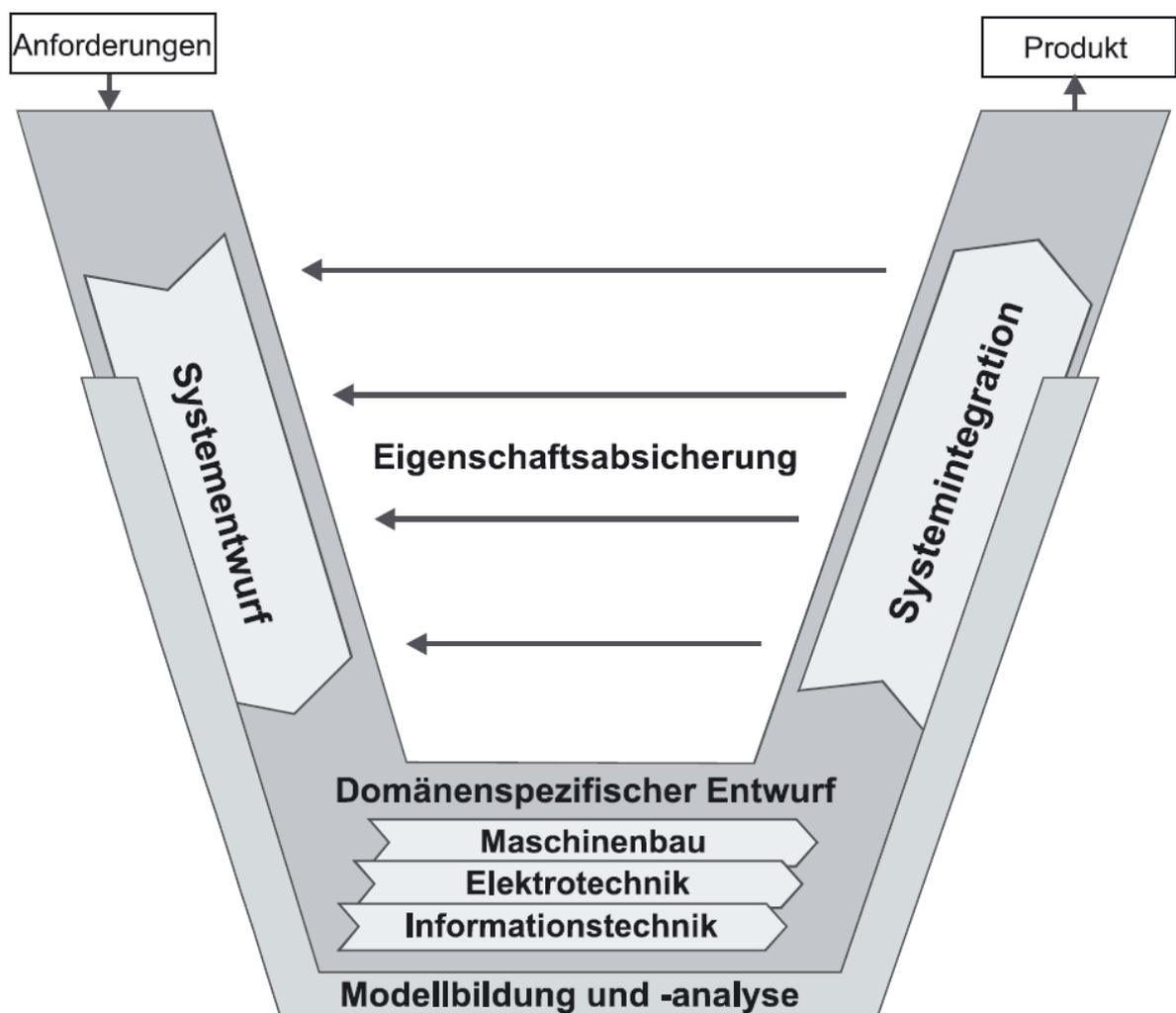


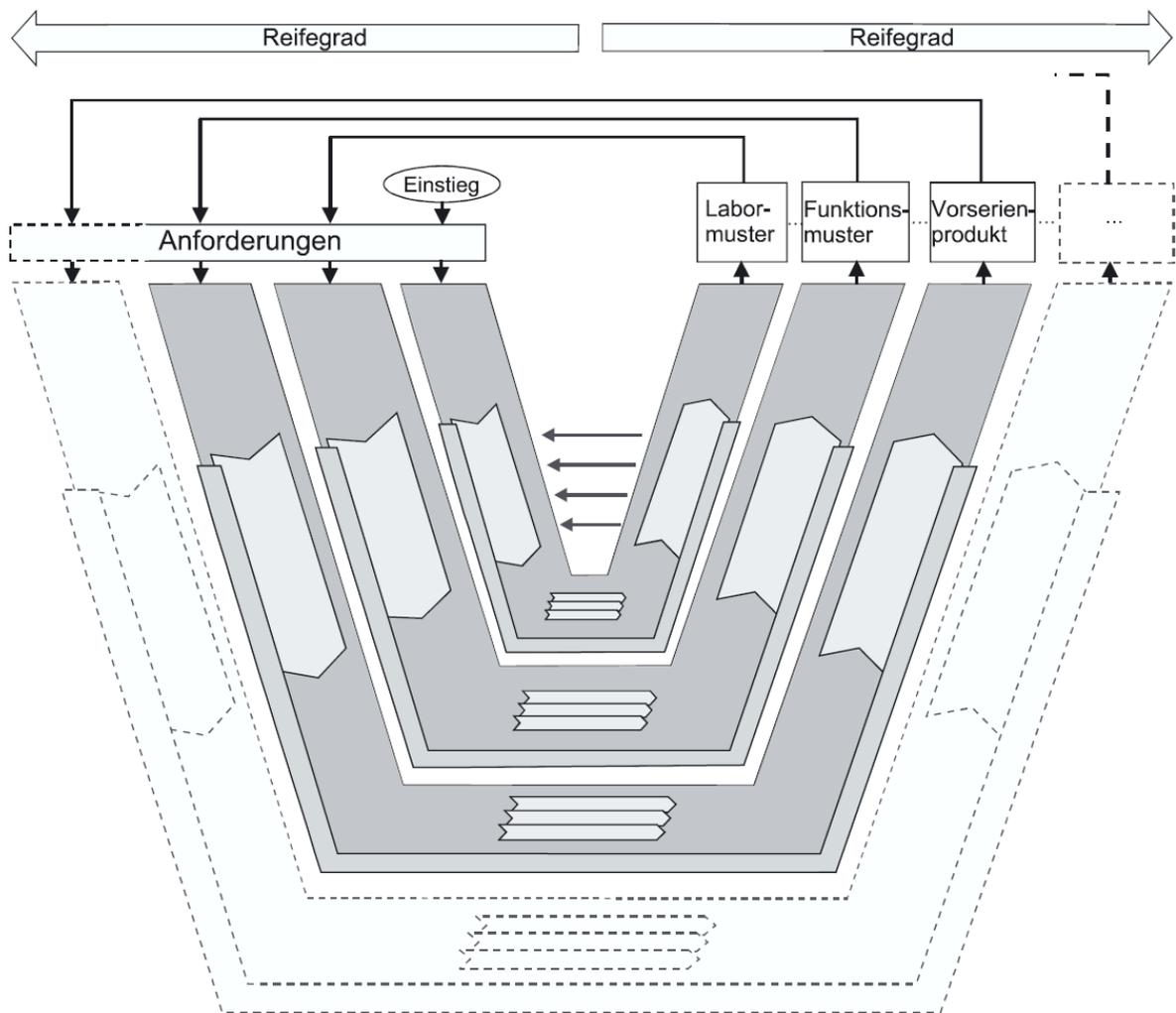
Abbildung 7: V-Modell als Makrozyklus beim Entwurf mechatronischer Produkte, übernommen aus (VDI2206, 2004, S. 29)

Bei der *Eigenschaftsabsicherung* wird der Entwurfsfortschritt fortlaufend anhand des spezifizierten Lösungskonzepts und der Anforderungen überprüft. Die beschriebenen Phasen werden bei der *Modellbildung und -Analyse* durch die Abbildung und Untersuchung der Systemeigenschaften mit Hilfe von Modellen und rechnergestützten Werkzeugen zur Simulation flankiert. (VDI2206, 2004, S. 30)

Ergebnis eines durchlaufenen Makrozyklus ist das *Produkt*. Dabei wird unter Produkt nicht ausschließlich das fertige, real existierende Erzeugnis verstanden, sondern die zunehmende Konkretisierung des zukünftigen Produktes, bzw. dessen Reifegrade. Reifegrade sind zum Beispiel das Labormuster, das Funktionsmuster, das Vorserienprodukt usw. (VDI2206, 2004, S. 30)

Ein komplexes mechatronisches Produkt entsteht in der Regel nicht innerhalb eines Makrozyklus. Vielmehr sind mehrere Durchläufe erforderlich (siehe Abbildung 8). In einem ersten Zyklus wird z.B. das Produkt funktional spezifiziert – Funktionenstrukturen werden erarbeitet. Darüber hinaus werden Wirkprinzipien und Lösungselemente ausgewählt und im Systemkontext auf Konsistenz geprüft und exemplarisch realisiert. Das Ergebnis ist ein *Labormuster* (siehe Abbildung 8). (VDI2206, 2004, S. 30)

Dieses wird in einem zweiten Zyklus weiter konkretisiert – durch Feindimensionierung der Lösungselemente, Verhaltens- und Gestaltsimulation – um erste *Funktionsmuster* zu erstellen. In Abhängigkeit von dem Entwurfsfortschritt und von der Art und Komplexität der Entwicklungsaufgabe können weitere Makrozyklen notwendig sein, um zu einem serienreifen Produkt zu gelangen.



**Abbildung 8: Durchlaufen mehrerer Makrozyklen beim Entwurf mechatronischer Produkte mit zunehmender Produktreife, übernommen aus (VDI2206, 2004)**

Die Richtlinie beschreibt in einer generischen Form, wie eine allgemeine Funktionenstruktur aus der Problemspezifikation abgeleitet werden kann. Dabei werden die allgemeinen Funktionenflussgrößen Stoff, Energie und Information verwendet. (VDI2206, 2004, S. 32) Es wird empfohlen, eine „Blockdarstellung“ zu verwenden bzw. Funktionenflussdiagramme zu erstellen, um die Zusammenhänge zwischen Ein- und Ausgabegrößen besser nachvollziehen und spezifizieren zu können. (VDI2206, 2004, S. 32)

Weiterhin wird empfohlen, die Gesamtfunktion in Teilfunktionen aufzugliedern. Gemeint sind natürlich stets Produktfunktionen, bzw. technische Funktionen. Zu den Teilfunktionen sollen wieder Funktionenflussstrukturen erarbeitet werden, um die Produktfunktion zu beschreiben und Inkonsistenzen frühzeitig zu erkennen. Ziel der Funktionenmodellierung ist, die Funktionenstruktur so weit zu detaillieren, bis

es gelingt, Wirkprinzipien und Lösungselemente zur Erfüllung der einzelnen Teilfunktionen zu finden. (VDI2206, 2004, S. 33)

Die kanonischen Funktionen, die von Huang (Huang, 2002) konzipiert wurden, und im weiteren Verlauf dieser Arbeit analysiert werden, sind ein neuer Lösungsansatz, um den Übergang von den abstrakten allgemeinen Funktionenflussgrößen zu geeigneten mechatronischen Lösungsprinzipien zu unterstützen. (VDI2206, 2004, S. 33) Der Ansatz von Huang wird in Kapitel 2.2.3.2 näher erläutert.

### *Diskussion*

Die Richtlinie VDI 2206 legt ein generisches Vorgehen zur Entwicklung mechatronischer Produkte fest. Wie bei der Richtlinie VDI 2221 ist dieses Vorgehen notwendigerweise auf einer abstrakten Ebene beschrieben. Funktionenstrukturen spielen auch hier eine zentrale Rolle. Hierfür gibt es eine generische Anleitung zur Funktionenmodellierung, die unter anderem auf die kanonischen Funktionen zur Funktionenmodellierung und Lösungsfindung mechatronischer Systeme eingeht. Die Richtlinie selbst spezifiziert aber keine konkreten Funktionenmodelle oder systematische Vorgehensweisen, die die Funktionenmodellierung Schritt für Schritt begleitet. Darüber hinaus bezieht sich die Richtlinie vor allem auf technische Produktfunktionen und nicht auf Nutzungsfunktionen. Möglichkeiten zur Rechnerunterstützung werden erwähnt und empfohlen, es werden aber keine entsprechenden Informationsmodelle spezifiziert.

#### 2.1.5 Problemlösungsmethodik SPALTEN

Die Problemlösungsmethodik SPALTEN legt ausgehend von der Idee des Systems Engineering eine strukturierte Vorgehensweise zur Problemlösung fest (Albers, Reiß, Bursac, & Breitschuh, 2016). SPALTEN ist eine universelle Vorgehensweise, deren Anwendungsbereich sich nicht notwendigerweise auf Problemstellungen aus der Produktentwicklung beschränkt.

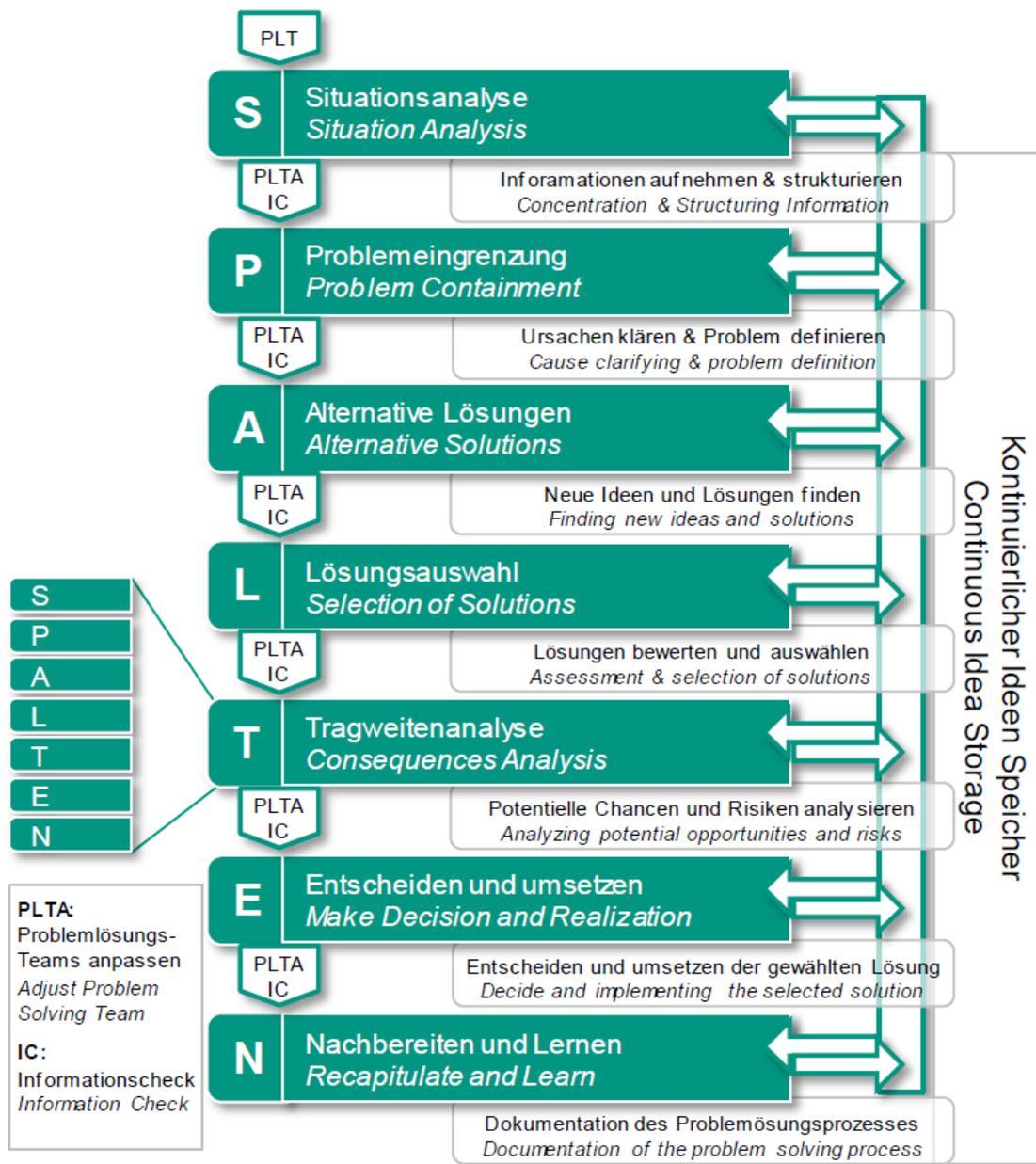
SPALTEN wurde zuerst von (Albers, Burkardt, & Saak, Gezielte Problemlösung bei der Produktentwicklung mit Hilfe der SPALTEN-Methode, 2002) veröffentlicht. Die Methodik lässt sich gleichermaßen auf Planungs- als und auf Notfallsituationen anwenden. Der Name der Methodik ist ein Akronym, welcher die logische Reihenfolge der Problemlösungsschritte beinhaltet und somit die Lernkurve zur Anwendung der Methodik vereinfacht.

Die Methodik gibt dem Entwickler einen roten Faden zur Hand, bestehend aus einer festgelegten und wiederkehrenden Folge von Teilaktivitäten, an welchem er sich

halten kann. Die Bedeutung des Verbs „spalten“ ist kennzeichnend für die Methodik: Diese unterstützt die Unterteilung komplexer Probleme in kleinere Probleme, die besser zu handhaben sind.

SPALTEN hat eine fraktale Struktur: Die Methodik kann sowohl auf dem gesamten Produktentwicklungsprozess, als auch auf einzelne Phasen und Aktivitäten dieses Prozesses angewendet werden. D.h. jeder Arbeitsschritt des SPALTEN-Prozesses kann einen eigenen SPALTEN-Prozess darstellen – siehe linke Seite der Abbildung 9, abgedruckt von (Albers, Reiß, Bursac, & Breitschuh, 2016).

Die Problemlösungsmethodik SPALTEN besteht aus sieben Arbeitsschritten, die in Abbildung 9 dargestellt sind. *Situationsanalyse*: Alle relevanten Informationen über die Situation werden gesammelt, strukturiert und dokumentiert. Die Informationen dienen als Grundlage für alle weiteren Schritte im Problemlösungsprozess. *Problemeingrenzung*: Das Ziel dieser Aktivität ist es, das Problem ausgehend von den gesammelten Informationen zu beschreiben und einzugrenzen. Dies liefert unter anderem die Grundlage für eine Evaluierung der zu entwickelnden Lösung. *Alternative Lösungen*: In diesem Schritt werden Lösungsvarianten für das beschriebene Problem generiert. Hierbei können verschiedene Methoden und Kreativitätstechniken eingesetzt werden. Um den Lösungsraum akkurat abzudecken ist eine große Anzahl an Lösungsvarianten anzustreben. *Lösungsauswahl*: Die generierten Lösungsalternativen werden miteinander verglichen und anhand von bestimmten Kriterien evaluiert. Die Auswahl der Kriterien soll spezifisch an der Problemsituation ausgerichtet werden. In der *Tragweitenanalyse* werden Risiken und Chancen der ausgewählten Lösungen bestimmt.



**Abbildung 9: Die Problemlösungsmethodik SPALTEN, übernommen aus (ALBERS, REIB, BURSAC, & BREITSCHUH, 2016), (ALBERS, BURKARDT, & SAAK, GEZIELTE PROBLEMLÖSUNG BEI DER PRODUKTENTWICKLUNG MIT HILFE DER SPALTEN-METHODE, 2002)**

Der Schritt *Entscheiden und umsetzen* hat zum Ziel, die angedachten Lösungen in die Realität zu übertragen. Pläne werden erzeugt und umgesetzt, wobei den identifizierten Risiken und Chancen besondere Achtung geschenkt werden soll. *Nachbereiten und lernen*: Rekapitulieren und lernen ist der letzte Schritt der Problemlösungsmethode SPALTEN. Hier wird das resultierende Wissen auf Dauer gesichert. Diese Aktivität beschreibt die Reflektion des Problemlösungsprozesses und die Dokumentation von Wissen für zukünftige Prozesse. Das ist ein Alleinstellungsmerkmal von

SPALTEN gegenüber existierender Methoden, die diesen Schritt meistens vernachlässigen.

Neben den SPALTEN-Aktivitäten gibt es weitere Komponenten der Methode: Die ständige Anpassung des Problemlösungsteams (PLTA), der kontinuierliche Ideenspeicher und der Informationscheck (IC). Im Allgemeinen startet der Prozess mit der Festlegung des PLTA. Da die verschiedenen Aktivitäten verschiedene Kompetenzen benötigen, spielt die Teamzusammensetzung eine Schlüsselrolle im Prozess. Während des Problemlösungsprozesses werden Ideen kontinuierlich generiert und gesammelt. Damit sie nicht verloren gehen, werden sie in einem kontinuierlichen Ideenpool systematisch gespeichert, so dass jedes Teammitglied stets Zugriff zum gesamten Lösungsraum hat. Ein weiteres Element ist der Informationscheck. Während der Analyse wird stets geprüft, ob die Informationen ausreichend sind, um zum nächsthöheren Schritt überzugehen. Es wird ebenso evaluiert, inwieweit die Informationsbasis zur Problemlösung verwendet werden konnte.

### *Diskussion*

Die Methodik SPALTEN bietet einen systemischen Rahmen, in welchem sowohl diskursive als auch intuitive Problemlösungsmethoden nutzbringend gemeinsam eingesetzt werden können. Mehrere Komponenten dieser Methode haben einen Bezug zur Funktionenmodellierung und betonen deren Stellenwert im Produktentstehungsprozess. Besonders hervorzuheben sind folgende Methodikomponenten:

- **Alternative Lösungen:** Die methodische Generierung von alternativen Lösungen geht von einem Verständnis der geforderten Funktionen des Produktes aus. Idealerweise sind diese Funktionen auch explizit dargestellt, so dass im Team ein gemeinsames Verständnis des zu lösenden Problems und dessen Teilprobleme erreicht werden kann. Eines der Vorteile der Funktionenmodellierung ist, dass sie das kreative Denken anregt und die Entwicklung einer gemeinsamen Wissensbasis unterstützt. Eine sehr gut bekannte Quelle von alternativen Lösungen sind Lösungskataloge, die nach der Funktion der Lösungen geordnet sind.
- **Lösungsauswahl:** Um die beste Lösung auszuwählen, ist es entscheidend, deren Haupt-, Neben- und Störfunktionen, sowie die Funktionen der anderen Teillösungen zu kennen.
- **Nachbereiten und lernen:** Funktionenmodelle dokumentieren die Semantik einer Lösung explizit und modellbasiert. Noch während des Produktentstehungsprozesses katalysieren sie die Entwicklung eines gemeinsamen Ver-

ständnisses sowohl des Problems als auch der technischen Lösung. Sie unterstützen ebenso die Speicherung und Weitergabe dieses Wissens an zukünftigen Projekten.

- Der Kontinuierliche Ideenspeicher: Eine der gängigsten Methoden, Ideen- und Lösungsspeicher zu gestalten, ist die Funktionenorientierte: Wirkprinzipien, Prinzipskizzen und Zeichnungen von technischen Lösungen werden anhand deren Funktionen gespeichert und gesucht: Für ein klassisches Beispiel siehe (Roth, Konstruieren mit Konstruktionskatalogen: Band 2: Kataloge, 2000).

## 2.2 Funktionenmodellierungskonzepte

### 2.2.1 Funktionenanalyse

Die Funktionenanalyse entstand 1947 als eine Methode zum Analysieren von erwünschten Funktionen, um ein Produkt zu entwickeln oder zu verbessern. (Akiyama, 1994, S. 21) Sie gehört zu den wichtigsten, in ihrer Bedeutung jedoch oft unterschätzten Modulen der Wertanalyse (WA), aber auch verwandter Methodik-Systeme wie Konstruktionsmethodik, Total Quality Management (TQM), Industrial Design etc. Unter FA versteht man das Analysieren der Funktionen von WA-Objekten – Produkten, Prozessen, Dienstleistungen. (VDI2803, 1996, S. 2) Daraus wird ersichtlich, dass die Funktionenanalyse einen disziplinübergreifenden Charakter hat, und ist deswegen für diese Arbeit von besonderem Interesse.

Die Funktionenmodellierung wird in der Funktionenanalyse als eine „sanfte Modellbildung“ für nicht algorithmierbare Systeme und Probleme bezeichnet. Das betont die Fähigkeiten der Funktionenmodelle, unscharfe und unpräzise Aufgabenstellungen abzubilden und deren systematische Konkretisierung methodisch zu unterstützen. Die Funktionenmodellierung ermöglicht ein größeres Suchfeld für neue, bessere und kostengünstigere Lösungen und unterstützt einen Lernprozess, der zu einer klaren Erkenntnis der Mängel des Ist-Zustandes der Analyseobjekte führt. Darüber hinaus kann die Funktionenanalyse eine Grundlage zur Entwicklung von innerbetrieblichen Bausteinsystemen dienen, sowie zur Erkennung und Reduktion von Sprachbarrieren und Kenntnislücken im Entwicklungsprozess beitragen. (VDI2803, 1996, S. 2), (VDI2807, 2013, S. Blatt 1)

Als „Funktion“ wird im Sinne der Funktionenanalyse nach DIN 69910 jede einzelne Wirkung des WA-Objektes bezeichnet. Sie wird durch ein Substantiv und ein Verb intuitiv beschrieben. Hierbei ist es wichtig, Verben mit aktivischer Bedeutung auszuwählen, die das direkte Geschehen beschreiben und nicht die Möglichkeit (Po-

tenz) hierzu, also „Flüssigkeit fördern“ und nicht „Flüssigkeitsförderung ermöglichen“. So entsteht beim Bearbeiten eine positive, bejahende, kreativitätsaktivierende Atmosphäre. Das Hauptwort sollte nach Möglichkeit quantifizierbar sein, auch bei immateriellen Objekten. (VDI2803, 1996, S. 2)

Die „sanfte“ Modellbildung der Funktionenanalyse in Form verbaler Funktionen und Funktionenstrukturen arbeitet nur soweit wie unbedingt nötig außerhalb der Systemrealität und holt sich die Systemantworten auf Einwirkungen aus dem System selbst, und nicht aus unzulänglichen Systemmodellen. (Akiyama, 1994, S. 14)

Zur *Terminologie* aus dem Bereich der Funktionenanalyse sei noch Folgendes angemerkt: In der deutschsprachigen Literatur – zum Beispiel in der Richtlinie (VDI2803, 1996) und in der deutschen Übersetzung der „Funktionenanalyse“ von Kaneo Akiyama (Akiyama, 1994) – werden funktionenbezogene, zusammengesetzte Wörter durchgehend auf folgender Weise gebildet: *Funktionenanalyse* anstatt Funktionsanalyse, *Funktionenstruktur* anstatt Funktionsstruktur, *Funktionenbaum* anstatt Funktionsbaum usw. Das Ziel dieser Formulierungsweise ist es, Missverständnisse zu vermeiden – *Funktionsstruktur* könnte eine Struktur aus Funktionen, aber auch die Struktur einer einzelnen Funktion bedeuten, wogegen *Funktionenstruktur* eine eindeutige Bezeichnung ist. Deswegen werden die funktionenbezogenen Begriffe in dieser Arbeit entsprechend der gängigen Praxis in der Funktionenanalyse zusammengesetzt.

Die Funktionenanalyse unterscheidet folgende Funktionenarten: (VDI2803, 1996, S. 3)

- Gebrauchsfunktionen – beschreiben der sachlichen Nutzung dienende, objektiv quantifizierbare Wirkungen eines WA-Objektes
- Geltungsfunktionen – beschreiben die nur subjektiv wahrnehmbaren, ausschließlich personenbezogenen zu gewichtenden Wirkungen des betrachteten Objektes

Darüber hinaus werden folgende Klassen von Funktionen festgelegt:

- Hauptfunktionen: die für den Nutzungseinsatz wichtigste Funktion(en). Ein Projekt hat mindestens eine Hauptfunktion
- Nebenfunktionen: Funktionen, deren Wichtigkeit für den Nutzer geringer ist als die der Hauptfunktionen
- Gesamtfunktionen: Gesamtwirkungen aller in einer Funktionenstruktur untergeordneter Funktionen
- Teilfunktionen, deren Gesamtwirkung die Gesamtfunktion ergibt
- Elementar-

- Basisfunktionen, die durch Zusammenwirken aller übrigen Funktionen im Untersuchungsraum erfüllt werden
- Folgefunktionen, die auf dem logischen Pfad des FAST-Diagramms (siehe weiter unten) liegen
- Parallelfunktionen, die gleichzeitig, gleichbedeutend, zusätzlich zu Folgefunktionen existieren
- Übergeordnete Funktionen: funktionales Ziel der Untersuchung
- Akzeptierte Funktionen: gegebene oder erforderliche Funktionen als Voraussetzungen aus dem Untersuchungsumfeld
- Unerwünschte Funktionen – eine vermeidbare oder unvermeidbare, unerwünschte Wirkung des Untersuchungsobjektes

Die Funktionenanalyse gibt folgende grobe Schritte des Vorgehens beim Erstellen von Funktionenstrukturen an: (Akiyama, 1994, S. 30)

### 1. Erfassen des Analyse-Objekts

Der Gebrauch der Funktionenanalyse erfordert ein zutreffendes und fehlerfreies Erfassen des Analyseobjekts. Dies ist eine Voraussetzung für ein zutreffendes Erfassen der Konzepte, die die zweckgerichteten Wirkungen des Analyseobjekts bilden: Welche Funktionen soll es erfüllen und in welcher Beziehung stehen diese zueinander? (Akiyama, 1994, S. 30)

### 2. Benennen der Funktionen

Die Funktionenbenennung ist der Kern der Funktionenanalyse. Zumeist hat ein Objekt mehrere Funktionen zu erfüllen. Existiert eine Hauptfunktion, können auch Nebenfunktionen vorhanden sein. Da Funktionen ihrem Wesen nach abstrakte Konzepte sind, gebraucht die Funktionenanalyse zur Benennung verbale Modelle in einer Substantiv-Verb-Form. (Akiyama, 1994, S. 30)

### 3. Strukturieren der Funktionen

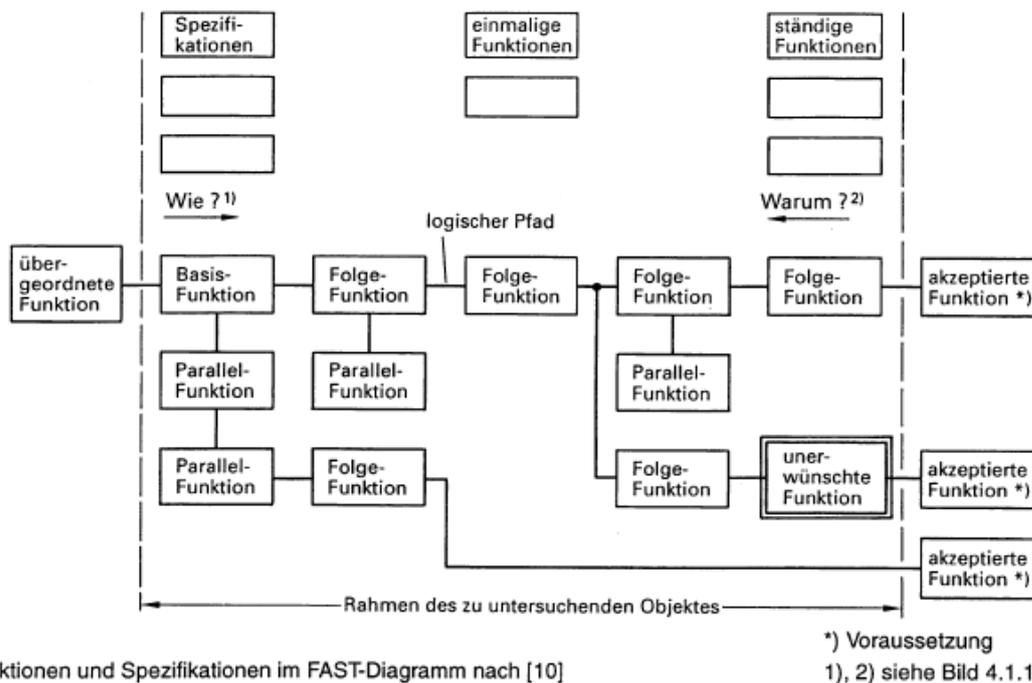
Der Funktionenstrukturierung kommt ebenso wie der Funktionenbenennung innerhalb der Funktionenanalyse eine zentrale Bedeutung zu. Die verschiedenen Arten und Klassen von Funktionen eines Analyseobjekts sind nicht voneinander isoliert, sondern stehen in bestimmten wechselseitigen Beziehungen zueinander.

Bei der Function Analysis System Technique (FAST) und der Mittel-Zweck-Logik handelt es sich um Methoden der Funktionenstrukturierung. In der Funktionenanalyse werden zur Strukturierung von Funktionen FAST-Diagramme und/oder Baumdiagramme verwendet. (Akiyama, 1994, S. 30)

Funktionenbäume werden verwendet, um die Funktionen nach dem hierarchischen Prinzip zu strukturieren. FAST-Diagramme unterstützen die Strukturierung entsprechend der Mittel-Zweck-Beziehungen, bzw. nach einem teleologischen – zweckorientierten – Prinzip. Im Folgenden werden FAST-Diagramme näher erläutert.

Das Strukturieren von Funktionen durch Erstellen von FAST-Funktionendiagrammen dient dem Aufspüren der Zielfunktionen und dem Suchen nach der jeweils nächsthöher eingestuften Funktion mit Hilfe der Frage „Wozu“. Dieser Prozess stimuliert das Nachdenken über Zielfunktionen – jene Art des Denkens, die auf Möglichkeiten zur Verbesserung vorhandener Produkte und Dienstleistungen aufmerksam macht. Sie kann aber auch zu alternativen Methoden der Funktionenrealisierung führen. Dieser Prozess regt die Kreativität des Planers an und entzündet eine Vielfalt neuer Ideen. Der Erfinder von FAST, Charles Bytheway, hat gesagt, dass die größte Bedeutung der Methode in der Anregung liegt, die ihre Anwendung der Kreativität gibt. (Akiyama, 1994, S. 67)

Bei der FAST-Funktionenstruktur (siehe Abbildung 10) lässt die von der übergeordneten Funktion über die Basis- und Folgefunktionen bis hin zur akzeptierten Funktion laufende Verkettung auf dem logischen Pfad eine starke logische Verknüpfung erkennen. Die Fragenkette „Wie?“ von links nach rechts oder „Warum?“ von rechts nach links macht auf Lücken bei der Funktionensammlung aufmerksam. In der FAST-Funktionenstruktur können noch Spezifikationen, einmalige Funktionen und ständige Funktionen dargestellt werden, für die es in einem Funktionenbaum keinen vorgesehenen Platz gibt. (VDI2803, 1996, S. 6-7)



Funktionen und Spezifikationen im FAST-Diagramm nach [10]

Abbildung 10: Ein generisches FAST-Diagramm, übernommen aus (VDI2803, 1996, S. 7)

Die mit dem Analyseobjekt beschäftigten Menschen sind im Allgemeinen auch für das Erstellen der FAST-Funktionenstrukturen zuständig. Der Erstellungsprozess dieser Diagramme verbessert die Kommunikation zwischen den Teammitgliedern, indem er das gemeinsame Erfassen der Funktionen und deren gegenseitiger Verbindungen erfordert. Funktionen und ihre Beziehungen zueinander sind Konzepte. Das Erstellen einer FAST-Funktionenstruktur objektiviert das Entwicklungskonzept eines Produkts oder einer Dienstleistung und ermöglicht die explizite Darlegung von Entwicklungsideen. (Akiyama, 1994, S. 67)

### Diskussion

Die Funktionenanalyse legt mehrere Funktionenarten und -Klassen fest. Darüber hinaus definiert sie eine eigene Art von Funktionenstruktur – die FAST-Struktur. Der Funktionsbegriff und die entsprechenden Funktionenmodellierungskonzepte der Funktionenanalyse sind interdisziplinär – sie können auf Produkte, Dienstleistungen und Prozesse angewandt werden. Die FAST-Funktionenstruktur eignet sich gut zur Verknüpfung von Funktionen nach teleologischen (Mittel-Zweck) Prinzipien, die von der allgemein bekannten hierarchischen (Teile-Ganzes-) Logik unabhängig sind. Diese Merkmale der FAST-Diagramme machen sie zu einem möglichen Ausgangs-

punkt zur Konzipierung einer Verknüpfung von Funktionen über verschiedene Modellebenen hinweg. Leider sind die in (VDI2803, 1996) UND (Akiyama, 1994) beschriebenen Methoden vor allem auf eine manuelle Bearbeitung der Funktionenstrukturen ausgelegt. Die Funktionen haben keine Attribute, die es ermöglichen würden, taxonomische formale Bezeichnungen anzugeben. Darüber hinaus können keine Funktionenflussobjekte, Kontextobjekte oder Nutzer abgebildet werden.

### 2.2.2 Multilevel Flow Modeling

Multilevel Flow Modeling (MFM) ist mit dem Zweck entwickelt worden, Modellierungsprobleme, die verschiedenen Automatisierungsentwurfsaufgaben in Industriebetrieben und Kraftwerken gemeinsam sind, zu behandeln. Solche Aufgaben sind z.B. die Entwicklung der Mensch-Maschinen-Schnittstellen und der Entwurf von automatisierten Steuerungs- und Regelungssysteme. (Lind, 2016, S. 1)

Das Ziel von MFM ist es, eine systematische Grundlage für die Erarbeitung von Mittel-Zweck (Engl. means-end) und Teile-Ganzes (Engl. whole-part) Dekompositionen bereitzustellen. Die Dekomposition in diesen zwei unabhängigen Achsen führen zu verschiedenen Ebenen von Mittel-Zweck- und Teile-Ganzes-Abstraktionen.

Auf der Mittel-Zweck-Achse unterscheidet MFM folgende Entwurfsobjektarten: Ziele, Funktionen und physische Komponenten. Gleichzeitig kann jeder dieser Entwurfsobjektarten auf verschiedenen Ebenen von Teile-Ganzes-Dekompositionen dargestellt werden. Die beiden Achsen der verschiedenen Dekompositionsarten sind in Abbildung 11 dargestellt. (Lind, 2016, S. 2)

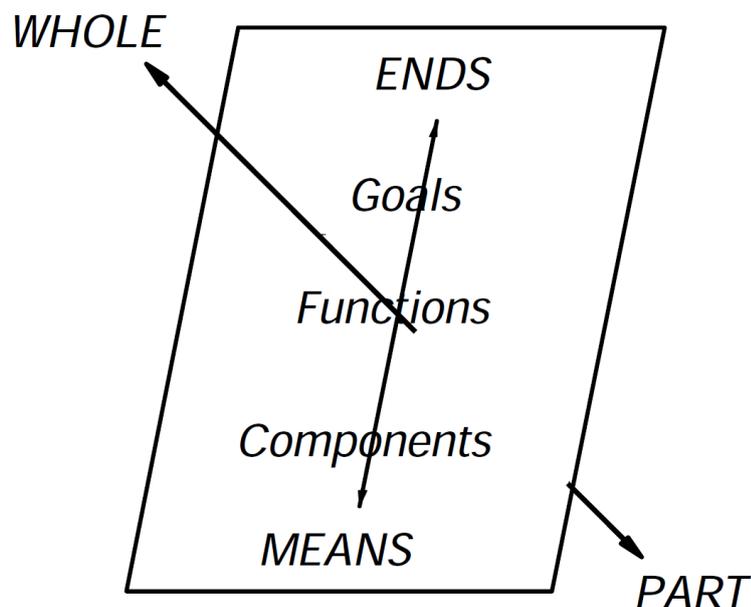


Abbildung 11: Mittel-Zweck (teleologische) und Teile-Ganzes (hierarchische) Achsen des MFM, übernommen aus (Lind, 2016, S. 2)

Die Komponenten *realisieren* unterschiedliche Funktionen, die ihrerseits zum *Erreichen* von Systemzielen beitragen. Gleichzeitig können mehrere Ziele zu einem übergeordneten Ziel zusammengefasst werden. Auf der gleichen Weise können auch die Funktionen und Komponenten in mehreren Teilfunktionen oder Teilsysteme aufgliedert werden. Es sind meist verschiedene Varianten der Dekomposition möglich. Die Kriterien zur Dekomposition der Entwurfselemente auf verschiedenen Ebenen sind dabei von der beabsichtigten Anwendung des MFM-Modells abhängig. (Lind, 2016, S. 4)

MFM macht eine strikte Unterscheidung zwischen den Funktionen, die rein intentionale Aspekte sind, und dem Systemverhalten, welches kausal bedingt ist. Lind trennt strikt die Sicht der Intentionen – Ziele und Funktionen – von der Sicht der Kausalität – Produktverhalten und Produktstruktur. Die Ursache dafür ist, dass die Kausalität vor allem mit den Naturwissenschaften und die Intentionalität vor allem mit den Geisteswissenschaften verbunden ist. Funktionen in MFM beschreiben die Absichten des Planers und die Funktionenstrukturen erklären, *wozu* die Komponenten des Industriebetriebs da sind, d.h. MFM-Modelle beschreiben die Teleologie von Industriebetrieben. (Lind, 2016, S. 5)

Durch die vielen Beziehungen zwischen den Entwurfselementen ist MFM in seiner Gesamtheit eine relativ komplexe Informationsstruktur, die sich gut für die Implementierung in einer Wissensbasis eignet. Zur besseren Übersicht können Ansichten definiert werden, um verschiedene Arten von Wissen über den Industriebetrieb darzustellen. Beispiele für solche Ansichten sind die sog. Goal-Objective-View und die

Objective-Function-Component-View. Mehr über diese Ansichten und deren Anwendungen kann in (Lind, 2008, S. 175 ff) gefunden werden.

### *Diskussion*

MFM ist eine Modellierungsmethode, die neben Funktionen noch Ziele und Komponenten abbilden kann. Diese Methode ist Anwendungsspezifisch – sie wurde für den Anwendungsfall Industriebetrieb entworfen. Die Funktionen und Funktionenflüsse in MFM entsprechen in etwa der Größenordnung der allgemeinen Funktionen und allgemeinen Funktionsgrößen, die aus der deutschsprachigen Konstruktionsmethodik bekannt sind. Damit sind MFM-Modelle auf eine recht breite Basis von Problemen anwendbar. Allerdings kommt das auch mit dem Nachteil, dass man sich nur anhand eines abstrakten Funktionenmodells nur sehr schwierig eine Konstruktionssaufgabe vorstellen kann. Dies wurde bereits bei der Analyse der allgemeinen Funktionsstrukturen festgestellt. Während MFM Modelle nur Produktfunktionen und keine Nutzungsfunktionen oder Funktionsbereiche abbilden können, sind die MFM-Prinzipien eines mehrdimensionalen Modellraums, welcher durch verschiedenen Sichten erschlossen werden kann, ein guter Ausgangspunkt für die Entwicklung eines mehrdimensionalen Modellraums zur Konzeptplanung architektonischer Systeme.

#### 2.2.3 Funktionenmodellierung mechatronischer Systeme

Die Funktionenmodellierung spielt eine zentrale Rolle in der systematischen Ermittlung von Lösungen. Mit Hilfe von Funktionenmodellen können Softwarewerkzeuge konzipiert werden, welche die individuellen Fähigkeiten des Konstrukteurs durch Anleitungen und Hilfestellungen fördern und seine Bereitschaft zur Kreativität steigern können. Gleichzeitig kann dem Entwickler die Notwendigkeit zur systematischen Beurteilung von Entwicklungsergebnissen aufgezeigt werden, damit er zielgerichteter zu besseren Lösungen gelangen kann. (Huang, 2002, S. 23)

Als Ansatz einer Konstruktionsmethodik mechatronischer, interdisziplinärer Systeme, kommen in erster Linie Funktionenmodelle in Frage, da diese eine disziplin-neutrale Produktbeschreibung darstellen. Aus diesem Grund sind sie ein passendes Hilfsmittel für die Lösungssuche in den unterschiedlichen Fachdisziplinen. Die herkömmlichen Funktionenmodelle, die vor allem auf den allgemeinen Funktionen mit nur wenigen, abstrakten Funktionsverben basieren, bieten eine nur eingeschränkte Übergangsfähigkeit von der abstrakten Aufgabenstellung zu den konkreten Lösungsprinzipien. (Huang, 2002, S. 170)

Deswegen wurde am RPK ein dreistufiges, wissensbasiertes Funktionenmodell entworfen, dessen Konkretisierungsgrad in nachstehender Reihenfolge steigt: allgemeine Funktionen, kanonische Funktionen, spezielle Funktionen. Mit Hilfe der Funktionenmodelle wird interdisziplinäres Wissen – aus den Ingenieurdisziplinen Maschinenbau, Elektronik und Informatik – systematisch angeordnet und in einem einheitlichen Rahmen organisiert. Entsprechend der drei Ebenen wurde ein formalisiertes Vorgehensmodell entwickelt, anhand dessen Lösungen zu einer vorgegebenen Aufgabe schrittweise gefunden, verifiziert und ausgewählt werden können. (Huang, 2002, S. 172) Ein wesentliches Merkmal ist hierbei der iterative Wechsel zwischen verschiedenen Modellebenen – allgemeine Funktionen, Funktionssenzen, kanonische Funktionen, Lösungsprinzipien- und Elementbibliotheken, und spezielle Funktionen. Im Folgenden wird auf diese Gliederung der Funktionenmodellebenen näher eingegangen.

### 2.2.3.1 Allgemeine Funktionen

Ein Ziel der Konstruktionsmethodik ist, sowohl alle möglichen Funktionen als auch alle möglichen Ein-/Ausgaben der Funktionen in Strukturen möglichst formal und eindeutig abzubilden. Probleme ergeben sich dabei sowohl mit der unendlichen Anzahl von möglichen Funktionen und Funktionenobjekten, als auch mit der großen Vielfalt deren Klassen. Das erstere Problem wird durch die Zerlegung komplexer Funktionen und Funktionenobjekte in elementaren Funktionen und Objekten, um aus ihnen Strukturen zu bilden. Ein Ansatz, um das letztere Problem in den Griff zu bekommen ist, ähnliche Funktionen und Objekte in Funktionen- bzw. in Objektklassen zusammenzufassen. (Langlotz, 2000, S. 87) Diese Klassen bilden Taxonomien, aus welchen die formalen Bezeichnungen für die Instanzen von Funktionen und Objekten ausgewählt werden können. Die größte Einteilung einer derartigen Taxonomie ist die Einteilung in allgemeine Funktionen und allgemeine Funktionengrößen. (Langlotz, 2000, S. 87)

Allgemeine Funktionenstrukturen erlauben somit das Modellieren von Produktfunktionen und deren Zusammenhänge auf einer sehr abstrakten Modellebene. (Langlotz, 2000, S. 87) Eine allgemeine Funktion ist eine Funktion, deren Funktionsgrößen Stoff, Energie und Information sind, und die aus den allgemeinen Funktionenverbunden, beispielsweise Speichern, Leiten, Umformen, Wandeln und Verknüpfen gebildet werden können. (Huang, 2002, S. 36) Roth legt folgende allgemeine Funktionen fest: *Speichern, Leiten, Isolieren, Umformen, Wandeln, Trennen und Zusammenführen*. Er definiert drei allgemeine Funktionengrößen: *Stoff (Materie), Energie und Information*. (Roth, 2000), (Langlotz, 2000, S. 87) Es ist ersichtlich, dass eine derartige Funktionenstruktur keinerlei Einschränkungen bezüglich der weiteren Konkretisierung und Realisierung der Lösung festlegt. (Langlotz, 2000, S. 87)

### 2.2.3.2 Kanonische Funktionen

Allgemeine Funktionen sind sehr abstrakt. Dies ist notwendig, um die Vollständigkeit aller möglichen Funktionalitäten überblicken und abbilden zu können. Die allgemeine Funktionenstruktur kann aber nur als Vorstufe zur Entwicklung konkreterer Funktionenstrukturen – kanonische und spezielle Funktionenstrukturen – dienen und nicht als Notation für die Konstruktion, da sich kein Konstrukteur, allein von der allgemeinen Funktionenstruktur ausgehend, eine konkrete Aufgabe vorstellen kann. (Huang, 2002, S. 36)

Das Konzept der kanonischen Funktionen wurde von Huang erarbeitet. (Huang, 2002) Ihr Funktionenmodell baut auf dem Funktionenmodell von Langlotz auf, der im nächsten Kapitel kurz vorgestellt wird. Die kanonischen Funktionen stellen eine Übergangsstufe zwischen den allgemeinen und speziellen Funktionen dar. Sie besitzen folgende Eigenschaften: (Huang, 2002, S. 65)

- Eine überschaubare Anzahl formaler Funktionenverben. Kanonische Funktionen sind anwendungsorientierter und konkreter als allgemeine Funktionen, sie können jedoch nicht zu einer bestimmten Fachdisziplin zugeordnet werden. Sie besitzen im Vergleich zu den fünf allgemeinen Funktionenverben neunundzwanzig standardisierten Funktionenverben. (Huang, 2002, S. 65)
- Die Funktionenflussgrößen sind ebenfalls keine konkreten physikalischen oder stofflichen Größen, sie beziehen sich aber auf eine Familie von konkreten Größen. Die weitere Konkretisierung ist nur eine Auswahl unter einer beschränkten Anzahl spezieller Funktionsgrößen, die zu verschiedenen Fachdisziplinen gehören können. (Huang, 2002, S. 65)
- Eine verifizierbare Funktionenstruktur: Gesetze aus den Naturwissenschaften können herangezogen werden, damit potentielle Fehler der erstellten Funktionenstruktur mittels eines vorhandenen Mechanismus aufgedeckt werden können.
- Ein fließender Übergang: Der Übergang von den allgemeinen zu den kanonischen und zu den speziellen Funktionen kann systematisch, stufenweise erfolgen, wobei der Planer jeweils überschaubare Konkretisierungsschritte durchzuführen hat. (Huang, 2002, S. 65)

Huang erweitert die Funktionenmodelle der allgemeinen und speziellen Funktionen derart, dass sie nicht nur für die Lösungsfindung im Maschinenbau, sondern vor allem für die Entwicklung mechatronischer, interdisziplinärer Systeme eine methodische Grundlage darstellen. Kanonische Funktionen und Funktionsgrößen sind konkreter als allgemeine Funktionen und ermöglichen eine präzisere Modellierung

und Lösungsfindung. Sie sind aber immer noch disziplinneutral und sind eine disziplinübergreifende Hilfe zur systematischen Lösungsfindung mechatronischer Systeme.

Darüber hinaus erarbeitet Huang auf Grundlage ihres wohldefinierten Funktionenmodells ein systematisches Vorgehen zur Funktionenmodellierung und Lösungsfindung mechatronischer Systeme. In diesem Vorgehen wird zuerst die Konstruktionsaufgabe formalisiert. Danach werden nacheinander die allgemeine, kanonische und spezielle Funktionenstruktur erstellt. Effektspeicher tragen unterstützend zur Erstellung der kanonischen und speziellen Funktionenstrukturen bei. Daraufaufgehend wird die Funktionenstruktur unter Zuhilfenahme einer Lösungselementbibliothek angepasst, so dass eine Simulation des Funktionenmodells durchgeführt werden kann.

### 2.2.3.3 Spezielle Funktionen

Langlotz entwickelte sein Funktionenmodell mit dem Ziel, die Konzeption und Entwicklung innovativer Produkte zu unterstützen. (Langlotz, 2000, S. 3) Sein Funktionenmodell baut vor allem auf der facettenreichen Funktionsmodellierungssystematik von Roth auf (s. (Roth, Konstruieren mit Konstruktionskatalogen: Band 1: Konstruktionslehre, 2000)). Es ermöglicht eine systematische, funktionsorientierte Rechnerunterstützung von Analyse- und Synthesetätigkeiten in den frühen Phasen der Konstruktion. (Langlotz, 2000, S. 59, 253)

Eine spezielle Funktion ist eine Funktion, deren Funktionsgrößen physikalische Größen wie Kraft oder Drehmoment sind, und die aus einem Satz von Funktionenverben, beispielsweise Sägen, Drehen oder Wandeln gebildet werden kann. (Huang, 2002, S. 36) Spezielle Funktionen resultieren aus der Konkretisierung der allgemeinen oder der kanonischen Funktionen, oder sie werden direkt in der speziellen Funktionenstruktur erstellt. Dabei wird eine Vielzahl von Eigenschaften festgelegt, die sowohl als Auswahlkriterien für die Suche nach Prinziplösungen als auch im Hinblick auf die Simulation des Funktionsverhaltens von Bedeutung sind. (Langlotz, 2000, S. 104)

Ein wichtiges Merkmal des Funktionenmodells von Langlotz ist die Möglichkeit, Funktionen nicht nur nach hierarchischen, sondern auch nach beliebigen anderen Kriterien gruppieren zu können und auf diese Weise multiple Funktionenhierarchien aufbauen zu können. Diese dienen vor allem dazu, den Überblick über Funktionenstrukturen zu erleichtern, um so die Komplexität beherrschen zu können. (Langlotz, 2000, S. 106)

Ein weiteres Merkmal ist die Einteilung der Funktionen in primäre, sekundäre, tertiäre, quartäre etc. Funktionen mittels des sogenannten Realisierungsindex. (Langlotz, 2000, S. 125) Ein Realisierungsindex Null bedeutet, dass die Funktion eine

Primärfunktion ist. Ein größerer Wert des Realisierungsindex bedeutet, dass diese Funktion eine Gegen-, Folge- oder Kompensationsfunktion einer Primärfunktion ist. (Langlotz, 2000, S. 126) Eine Funktion kann einen bestimmten Realisierungsindex unabhängig davon, wo sie sich in der Hierarchie befindet, besitzen. D.h. eine Primärfunktion kann sowohl eine Gesamt- als auch eine Teilfunktion sein, da diese beiden Dimensionen – hierarchisch und teleologisch – voneinander unabhängig sind.

Spezielle Funktionenobjekte ergeben sich aus der Konkretisierung der allgemeinen bzw. der kanonischen Funktionsgrößen, oder sie werden direkt in der speziellen Funktionenstruktur erzeugt, falls keine allgemeine oder kanonische Funktionenstruktur existiert. Langlotz bezeichnet Ein- und Ausgaben von speziellen Funktionen sowohl als spezielles Funktionenobjekt als auch als spezielle Funktionsgröße. Im ersteren Fall ist die Gesamtheit aller Eigenschaften und im Letzteren – sind die einzelnen Eigenschaften gemeint. (Langlotz, 2000, S. 91)

Spezielle Funktionenobjekte werden nicht wie allgemeine oder kanonische Funktionenobjekte in reine Materie-, Energie- oder Informationsgrößen unterteilt, da dies in der Realität nicht immer möglich ist. (Langlotz, 2000, S. 89) Stattdessen können spezielle Funktionenobjekte sowohl Materie- als auch Energie- und Informationseigenschaften enthalten. Langlotz erläutert diesen Sachverhalt beispielhaft anhand einer Lochkarte. Deren Eigenschaften lassen sich einteilen in: (Langlotz, 2000, S. 90)

- Materieeigenschaften – die Karte besteht aus Materie – einem bestimmten Stoff (beispielsweise Kunststoff), welcher gewisse Stoffeigenschaften besitzt. (Langlotz, 2000, S. 90)
- Energieeigenschaften: Die Karte kann potentielle oder kinetische Energie besitzen. Außerdem hat sie eine bestimmte Temperatur, die ein Maß für ihren thermischen Energiegehalt darstellt. (Langlotz, 2000, S. 90)
- Informationseigenschaften: Sowohl der Informationsgehalt, der auf der Lochkarte gespeichert ist, als auch der Code, also die Darstellungsform des Informationsgehalts, sind Beispiele für Informationseigenschaften der Lochkarte. (Langlotz, 2000, S. 90)

An diesem Beispiel lässt sich erkennen, dass mehrere Eigenschaften eines speziellen Funktionenobjektes gleichzeitig relevant sein können. Deswegen sieht das Funktionenmodell von Langlotz die Möglichkeit vor, mehrere Eigenschaften spezieller Funktionenobjekte abzubilden und eine Priorisierung dieser festzulegen. (Langlotz, 2000, S. 90)

### 2.2.3.4 Diskussion

Die am ehemaligen Institut für Rechneranwendung in Planung und Konstruktion (RPK) erarbeiteten detaillierten, wissensbasierten Funktionenmodelle sind im Hinblick auf die Darstellung von mechatronischen Produkten in den frühen Phasen des Entwurfsprozesses entwickelt worden. Durch das dreistufige Funktionenmodell wird eine methodische, übersichtliche Vorgehensweise bei der funktionsorientierten, disziplinübergreifenden Lösungsfindung effektiv unterstützt. Darüber hinaus ermöglichen diese wohlstrukturierten Modelle eine rechnergestützte Analyse, Verifikation und Simulation der Funktionenstrukturen. Merkmale wie Funktionsgruppierungen und –Hierarchiebildungen nach mehreren Kriterien, und eine davon unabhängige Einteilung nach Realisierungsindizes sind effektive Werkzeuge, um die Komplexität von Funktionenstrukturen zu beherrschen. Deswegen können diese Funktionenmodelle als eine Ausgangsbasis zur Konzipierung der Modellebenen vor allem der Produkt-, aber auch der Nutzungsfunktionen dienen.

### 2.2.4 Die Funktionenbasis zur Entwicklung technischer Produkte

Beim Entwerfen technischer Systeme haben alle Produkte und Systeme einen angedachten Zweck für ihre Existenz. Dieser Zweck ist die Funktion des Produktes oder des Systems. Die Funktionenmodellierung legt eine abstrakte aber dennoch direkte Methode zur Verständnis und Repräsentation der Funktionen des Produkts oder des Systems fest. Darüber hinaus dient die Funktionenmodellierung zur strategischen Führung der Entwicklungstätigkeiten – Problemanalyse und –Dekomposition, Entwicklung einer Produktarchitektur, Konzeptentwicklung und Teamorganisation. (Hirtz, Stone, McAdams, Szykman, & Wood, 2002, S. 65)

Ein standardisierter Satz von funktionsbezogenen Bezeichnungen – Funktionenverben und Funktionenflussgrößen – führt zu wiederholbaren und sinnvollen Ergebnissen der Funktionenmodellierung. Darüber hinaus wird dadurch nachweislich die Klarheit der Kommunikation im Entwicklungsteam steigert und die Vollständigkeit der Funktionenmodelle erhöht. (Kurfman, Stock, & Stone, 2003, S. 690) Deswegen wird eine formale Funktionenrepräsentation für die Funktionenmodellierung benötigt. Diese formale Repräsentation wird als Funktionenbasis (Englisch *functional basis*) bezeichnet. (Hirtz, Stone, McAdams, Szykman, & Wood, 2002, S. 65) Die Funktionenbasis wurde auf Grundlage von Vorarbeiten des National Institute of Standards and Technology (NIST) der USA, sowie von zwei US Universitäten – University of Missouri-Rolla und die University of Texas – und von deren Industriepartner entwickelt. (Hirtz, Stone, McAdams, Szykman, & Wood, 2002, S. 65)

Die Funktionenbasis besteht im Wesentlichen aus zwei Sätzen von taxonomischen Elementen: Die Taxonomie der Funktionenverben und die Taxonomie der Funktionsflüsse. Diese Taxonomien sind im Sinne der Mechatronik interdisziplinär angelegt und können zur Funktionenmodellierung mechatronischer Produkte eingesetzt werden (siehe (Marinov, et al., 2011)). Der Abstraktionsgrad der Taxonomien entspricht in etwa der speziellen Funktionen von Langlotz (Langlotz, 2000). Die Funktionenbasis hat den Vorteil, dass sie interdisziplinär angelegt ist, und dass die Funktionenverben und –Größen in einer übersichtlichen dreistufigen Taxonomie eingliedert sind. Deswegen werden sie in dieser Arbeit als formale Funktionenbezeichnungen bei der Modellierung von Produktfunktionen bevorzugt eingesetzt. Beide vollständigen Taxonomien sind in Anhang A und B zu finden.

### 2.2.5 Funktionenmodellierung in der Architektur

Wie bereits erwähnt wurde, wird der Funktionenbegriff in der Architektur wesentlich facettenreicher als in der Mechatronik aufgefasst. Das ist auch einer der Gründe, aus welchen noch keine einheitlichen Funktionenmodelle zur Konzeptplanung architektonischer Systeme vorhanden sind. In den folgenden Kapiteln werden einige Funktionenmodellierungskonzepte und Beispiele aus der Entwurfsmethodik der Architektur vorgestellt.

#### 2.2.5.1 Alfred Scholz

Scholz entwickelte in seiner Dissertation detaillierte Konzepte zur Funktionenmodellierung architektonischer Systeme an der ehemaligen Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar. In seiner Arbeit identifiziert er eine Reihe von Entwurfsobjekten, die mit den (Nutzungs-)Funktionen zusammenhängen – Zeitkontext, Forderungen, Wirkungen, Austauschobjekte, räumliche Einheiten, raumbildende Elemente und Räume. Von ihm stammt die folgende Definition:

*„Jedes Bauobjekt dient zur Realisierung bestimmter Funktionen. Funktionen sind Handlungen oder Tätigkeiten, die mit Hilfe der Bauobjekte durch Menschen, Tiere, Pflanzen oder Dinge wahrgenommen werden.“ (Scholz, 1984, S. 26)*

Er verwendet den Funktionenbegriff ausschließlich im Zusammenhang mit der Nutzungstechnologie, d.h. im Sinne von Nutzungsfunktionen. Scholz schreibt: „Grundsätzlich erfüllen damit Bauobjekte Bedürfnisse des Menschen, da die Funktionen letztendlich aus den Bedürfnissen der Menschen resultieren.“ (Scholz, 1984, S. 26) Scholz sieht einen engen Zusammenhang zwischen Funktion, Bauobjekt und Umwelt: Die Funktion richtet für ihre Ausführung bestimmte Forderungen, die nicht immer durch die natürlichen Bedingungen realisiert werden. Aus dem Zwang der

Befriedigung der Bedürfnisse ergibt sich die Aufgabe, die Umweltbedingungen mittels der Bauobjekte so umzugestalten, dass sie den Forderungen der Funktionen genügen. (Scholz, 1984, S. 26) Die Forderungen einer Funktion werden durch den Planer in Anforderungen an die Bauobjekte bzw. deren Beziehungen, die zur Erfüllung dieser Funktion erzeugt werden, transformiert. (Scholz, 1984, S. 33)

Scholz legt besonderen Wert darauf, dass die Funktionen getrennt von den Räumen modelliert und erarbeitet werden, insbesondere in den frühen Planungsphasen: „In der Anfangsphase stehen die Zuordnung und die Beziehungen zwischen den einzelnen Funktionen im Vordergrund. Hier wirken jegliche geometrische Angaben, wie sie immer in der Darstellung der Räume anzutreffen sind, störend.“ (Scholz, 1984, S. 47) Funktionenstrukturen sind in seinem Modell stets hierarchische Strukturen. Flusstrukturen oder andere Formen der Funktionenstrukturen werden nicht verwendet.

Trotz der Bestrebung, Funktionen getrennt von Räumen zu betrachten, ist das Funktionenkonzept von Scholz nicht völlig frei von räumlichen Merkmalen. So gehören zu den Arten der zulässigen Funktionenbeziehungen neben Austauschbeziehungen (Ein-/Ausgabebeziehungen) auch Lagebeziehungen. (Scholz, 1984, S. 59) Das Funktionenmodell von Scholz kennt keine formalen Beschreibungen der Funktionen, bzw. es ist nicht möglich, standardisierte Taxonomien zu verwenden. Als Funktionenbezeichnungen werden oft Bezeichnungen der Räume, die die Funktionen aufnehmen sollen, verwendet, wie z.B. Beizerei, Stanzerei und Lackiererei (siehe (Scholz, 1984, S. A 2))

Die Darstellung der sog. Semantikkomponente der Funktion, die aus deren Wirkungen, Forderungen und Zeitkontext besteht, ist ein wesentliches Merkmal des Funktionenmodells von Scholz. Der Zeitkontext wird durch eine Periode dargestellt, die sich aus unterschiedlichen Intervallen des Wirkens der Funktion zusammensetzt, wobei ein Intervall durch seine Dauer und seine Wahrscheinlichkeit charakterisiert wird. Es wird angenommen, dass alle Wirkungen und Forderungen einer bestimmten Funktion ein gleiches zeitliches Verhalten aufweisen. (Scholz, 1984, S. 55) Die Wirkungen einer Funktion auf ihre Umwelt – Lärm, Strahlung usw. – sind Emissionen, die sich räumlich ausbreiten – punkt-, linien- oder flächenförmig. (Scholz, 1984, S. 17) Forderungen können verschiedener Art sein – Flächenforderungen, Schallpegelforderungen, Anschlussforderungen usw. Eine Forderung einer Funktion kann eine Reihe von Anforderungen an Bauobjekten auslösen. (Scholz, 1984, S. 33)

Scholz identifiziert die folgenden *Phasen des Gebäudeentwurfs*:

- Ermittlung und Zuordnung der Funktionen (Topologie): Aus der gegebenen Aufgabenstellung, die die Funktionen und die dazugehörigen Restriktionen

für das zu planende Bauobjekt enthält, versucht der Planer eine topologisch optimale Zuordnung der einzelnen Funktionen zu erreichen. Hierbei können die Primärfunktionen durch Sekundärfunktionen (z.B. Erschließungsfunktionen) ergänzt werden. Sekundärfunktionen sind Funktionen, die nicht unmittelbar an der Erfüllung der Aufgabe des Gebäudes beteiligt sind. (Scholz, 1984, S. 6) Funktionenstrukturen werden graphisch modelliert.

- Gestaltung und Zuordnung der Räume (abstrakte Raumgeometrie): Den Funktionen werden räumliche Einheiten zugeordnet, wobei letztere als materielle Gebilde dargestellt werden. Durch diese Zuordnung werden die Funktionen geometrisch umgesetzt. Die Manipulationen in dieser Etappe beschränken sich im Wesentlichen auf die Räume mit dem Ziel, die optimale Topologievariante geometrisch zu realisieren. (Scholz, 1984, S. 6)
- Lösungsprinzip der Konstruktion (abstrakte konstruktive Lösung): Die Ansätze für die konstruktive Lösung werden untersucht; es folgt die Umsetzung der Raumstruktur in eine Bauelementestruktur. Dabei erhalten die Räume auch weitestgehend ihre spätere Form. Es wird eine noch recht globale Vorstellung über die konstruktive Ausbildung formuliert. (Scholz, 1984, S. 7)
- Entwicklung der materiellen Realisierung (konstruktive Ausbildung): Die in der vorherigen Phase überschlägig definierte Konstruktionslösung wird jetzt durch konkrete Bauelemente ergänzt, die durch ihre geometrischen und stofflichen Merkmale beschrieben werden. Größtenteils sind es Katalogelemente, die an den entsprechenden Stellen platziert werden. (Scholz, 1984, S. 7)

### *Diskussion*

Das Funktionenmodell von Scholz ist vergleichsweise detailliert und tiefgehend. Besonders hervorzuheben ist die Modellierung der vielfältigen Eigenschaften der Nutzungsfunktionen, sowie der mit ihnen verknüpften Entwurfsobjekten wie Forderungen, Wirkungen, Zeitkontext und Ein-/Ausgabeobjekte. Die abstrakten, räumlichen Einheiten sind ein weiteres wichtiges Konzept, welches zur getrennten Betrachtung von funktionalen und räumlichen Eigenschaften beiträgt. Diese werden in seinem systematischen Vorgehen als Zwischenschritt zwischen der Funktionenstruktur und der abstrakten Konstruktion erarbeitet. Leider wird aber diese Trennung nicht vollständig vollzogen, so dass die Funktionenmodelle doch topologische Merkmale und Beziehungen aufweisen. Dies wird auch daran ersichtlich, dass das Ergebnis der Funktionenmodellierung eine Topologie darstellt. Die Funktionenmodellierungskonzepte von Scholz können ein Ausgangspunkt für die Entwicklung eines Modells der Nutzungsfunktionen in der Architektur darstellen. Allerdings muss auf eine

klare Unterscheidung zwischen funktionalen und räumlichen Aspekten besonders geachtet werden.

### 2.2.5.2 Jürgen W. Schönfeld

Laut Schönfeld (Schönfeld, 1992) muss der Architekt in der Lage sein, die in einem zu planenden Gebäude stattfindenden Tätigkeiten genau zu beschreiben. Während die Frage nach den Tätigkeiten bei einer Wohnung noch verhältnismäßig leicht zu beantworten ist, wird bei der Planung eines Krankenhauses, eines Labors oder einer Fertigungsstraße in einem Industriebetrieb, wo eine großen Anzahl von Tätigkeiten gefordert wird, deren Beziehungen vielschichtig und unüberschaubar sind und die sich zum Teil überlagern, schnell klar, dass hier die einzelnen Tätigkeiten genau analysiert werden müssen, um daraus zu einer folgerichtigen Funktionenzuordnung zu gelangen. (Schönfeld, 1992, S. 11)

Die Tätigkeiten beantworten die folgende Frage: (Schönfeld, 1992, S. 11)

*Wer macht was, wann, warum und womit?*

Darüber hinaus muss der Architekt die Größe der Einrichtungsgegenstände und technischen Geräten (z.B. in einer Küche) und deren Abstände zu den umgebenden Bauteilen kennen. Er muss wissen, welchen Platzbedarf – welche Stellfläche und welche Bewegungsfläche zur Benutzung und Bedienung dieser Einrichtungsgegenstände erforderlich sind. Bewegungsflächen sind hierbei die zwischen verschiedenen Stellflächen und Wänden freibleibenden Flächen. Sie schließen die Abstände von Einrichtungen, die zu deren Benutzung oder Bedienung notwendig sind, sowie die Flächen für in den Raum schlagende Türen ein. Die Stellflächen, Abstände und Bewegungsflächen im Wohnungsbau sind z.B. in der DIN 18011 geregelt. (Schönfeld, 1992, S. 13)

Der Architekt muss Funktionsabläufe für die geforderten Tätigkeiten kennen und sich darüber im Klaren sein, wie Einrichtungsgegenstände am zweckmäßigsten dabei einander zuzuordnen sind und wie ihre Maßbeziehung (Bewegungsfläche, Stellfläche, Abstände) zu den umgebenden Bauteilen ist. *Aus den Funktionenabläufen ergibt sich die Zuordnung der Räume zueinander.*

Zum Beispiel im Operationsbereich eines Krankenhauses lassen sich die Funktionenabläufe nach verschiedenen Nutzergruppen einteilen:

- Funktionenablauf Patient: Anliefern, umbetten, vorbereiten, operieren, ausleiten, umbetten, aufwachen, transportieren (zur Intensivstation oder zur Pflegeabteilung)

- Funktionenablauf Personal: Stationäre Kleidung ablegen, waschen, duschen, reine Kleidung anlegen, Hände waschen, OP-Kleidung anlegen, operieren, unreine OP-Kleidung ablegen, waschen, duschen, umkleiden
- Funktionenablauf Ver- und Entsorgungsgüter: Reine Versorgungsgüter anliefern, unreine Versorgungsgüter abtransportieren, aufbereiten, bereitstellen

Der Planer muss auch Gesetze, Rechtsverordnungen, berufliche Bestimmungen, die Bauordnung, Verwaltungsvorschriften, DIN-Normen, und Richtlinien beachten, die für die verschiedenen Bauaufgaben als Forderungen gelten. Darüber hinaus muss eine Reihe von weiteren Einflussfaktoren, wie menschliche Abmessungen, technische Maßeinheiten, typische Raumabmessungen, visuelle, psychische, soziale und raumklimatische Forderungen der Tätigkeiten und Kosten, berücksichtigt werden. (Schönfeld, 1992, S. 15)

Nachdem die oben beschriebenen Grundlagen aufbereitet worden sind, können sie zu einem Raumzuordnungsschema verknüpft werden. Der methodische Weg, den Schönfeld zur Umsetzung von gebäudekundlichen Faktoren in ein Projektentwurf vorschlägt, besteht darin, über die Tätigkeiten und deren Anforderungen, zu einem Gebäudegrundriss zu gelangen. (Schönfeld, 1992, S. 16) Im Folgenden werden die einzelnen Schritte des methodischen Weges beschrieben:

### 1. Ermittlung der Tätigkeiten

Zunächst werden die Tätigkeiten ermittelt. Hierbei wird das englische Activity Data Method (ADM) verwendet. Das Ziel des ADM ist es, alle im zu planenden Gebäude stattfindende Tätigkeiten gründlich aufzuzeichnen. Dies wird mit Hilfe von Tätigkeitsdiagrammen und Tätigkeitsdatenblättern erreicht. Sie bilden ein umfassendes Dokument, das von allen Mitgliedern des Entwurfsteams benutzt werden kann. Die Tätigkeiten der Nutzer bilden die Grundlage für den Entwurf. (Schönfeld, 1992, S. 16)

### 2. Auflisten der Tätigkeiten

Der erste Schritt besteht darin, eine Liste der Tätigkeiten aufzustellen, die im Gebäude stattfinden sollen und die aufeinander abgestimmt werden müssen. Zuerst werden Primärtätigkeiten aufgelistet, danach folgen Sekundärtätigkeiten.

Beispielhafte Liste der Tätigkeiten für eine Halle für Turnen und Spiele: (Schönfeld, 1992) S. 16

**Tabelle 1: Liste der Primärtätigkeiten für eine Halle für Turnen und Spiele, aus (Schönfeld, 1992)**

Warten	1
Bezahlen	2

Umkleiden	3
Geräte aufbewahren	4
Sport treiben	5
den Turnenden zuschauen	6
die Turnenden beaufsichtigen	7
Verletzte behandeln	8
sich waschen. duschen	9
WC	10
Erfrischung zu sich nehmen	11
Außengeräte aufbewahren	12
Außensport treiben	13

**Tabelle 2: Liste der Sekundärtätigkeiten für eine Halle für Turnen und Spiele, aus (Schönfeld, 1992)**

Parken	14
Reinigen	15
Ver- und Entsorgen	16
Heizen	17

**Tabelle 3: Liste der Personen und Dinge für eine Halle für Turnen und Spiele, aus (Schönfeld, 1992)**

Zuschauer	z
Turnender	t
Besucher	b
Gerät	g
Verletzte	v
Aufsicht	a
Autofahrer	f

### 3. Aufstellen der Tätigkeitsdiagramme

In den Tätigkeiten werden die Tätigkeiten durch Kreise, in denen die Nummern der Tätigkeiten von der oben angegebenen Liste eingetragen sind, und die Beziehungen zwischen den Tätigkeiten durch Linien, die die Kreise verbinden, dargestellt (siehe Abbildung 12). Die Beziehungen zwischen den Tätigkeiten leiten sich von den möglichen Bewegungen von Menschen und Dinge ab. Ist eine Person oder ein Gegenstand zuerst in eine Tätigkeit und dann in eine andere verwickelt, so wird eine Linie zwischen den beiden Tätigkeiten gezogen. Jeder Beziehung wird durch die Linienstärke/Linienart ein bestimmtes Gewicht gegeben – gestrichelte Linien haben niedrigere Priorität als volle Linien. Auf den Verbindungslinien werden die Tätigkeiten ausübenden Personen und Dinge eingetragen. Durch Pfeilspitzen wird die Richtung angegeben. (Schönfeld, 1992, S. 16)

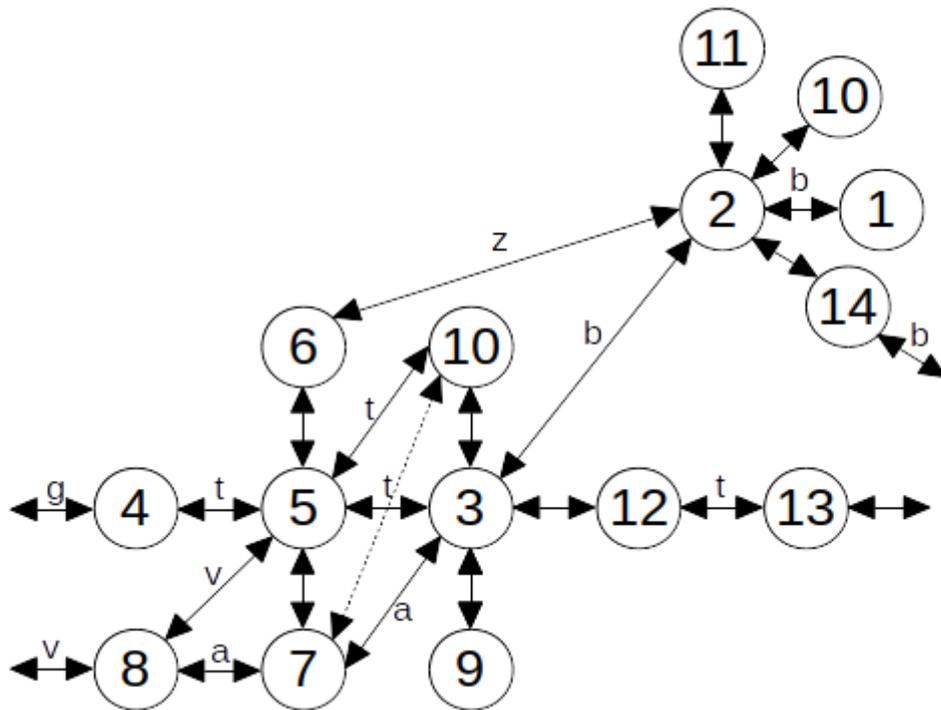


Abbildung 12: Tätigkeitsdiagramm einer Sporthalle, aus (Schönfeld, 1992, S. 17)

#### 4. Ausfüllen der Tätigkeitsdatenblätter

Die Aufstellung der Tätigkeitsdatenblätter ist für die Analyse jeder Tätigkeit auf einem einfachen Vorgang aufgebaut: (Schönfeld, 1992, S. 17)

- Identifikation der Tätigkeit (durch eine Nummer)
- Beschreibung der Tätigkeit
  - Was wird getan?
  - Wann wird es getan?
  - Warum wird es getan?
  - Womit wird es getan?
- Analyse: Beschreibung der Personen und Dinge, in die Tätigkeit verwickelt sind.
- Raumanforderungen: Stellflächen, Abständen, Bewegungsflächen
- Lichte Raumhöhe, Anmerkungen, Empfehlungen, Vorschriften
- Visuelle, physische, psychische, soziale und raumklimatische Anforderungen

Der Zweck eines solchen methodischen Vorgehens liegt darin, auf übersichtliche und ergänzbare Weise möglichst alle für eine Tätigkeit wichtigen Angaben und Anforderungen darzustellen, so dass im nächsten Schritt diese Angaben aus

- Ermitteln der Tätigkeiten
- Aufstellen der Tätigkeitsdiagramme
- Ausfüllen der Tätigkeitsdatenblätter

in ein Raumzuordnungsschema umgesetzt werden können. (Schönfeld, 1992, S. 17)

### 5. Raumzuordnungsschema und Grundrisseinheit

In den nächsten zwei Schritten werden für jede Tätigkeit Grundrisselemente entwickelt und diese entsprechend den aufgezeigten Beziehungen zu Funktionenbereichen zusammengesetzt. Danach wird durch Gewichtung und Wertung von inneren und äußeren Einflussfaktoren eine Grundrisseinheit für das Gebäude entworfen.

#### *Diskussion*

Die Tätigkeiten bei Schönfeld entsprechen der Nutzungsfunktionen bei anderen Autoren. Im Tätigkeitsdiagramm werden Nutzungsfunktionen miteinander Verknüpft – dadurch können Funktionenflüsse dargestellt werden. In den Tätigkeitsdatenblättern wird eine Reihe von wichtigen Merkmalen der Nutzungsfunktionen beschrieben. Die Nutzungsfunktionen werden anschließend Funktionenbereichen zugewiesen. Allerdings können in den Tätigkeitsdiagrammen keine Funktionenhierarchien oder Kontextobjekte angegeben werden. Eine Abbildung von und Verknüpfung mit Produktfunktionen ist nicht vorgesehen. Der Übergang von Nutzungsfunktionen zu Funktionenbereichen ist sprunghaft, da die Funktionenbereiche bereits geometrische Eigenschaften besitzen – eine topologische Darstellung der Funktionenbereiche wie bei anderen Autoren ist nicht Teil des Vorgehens. Daher kann die Zuordnung von Funktionen zu Funktionenbereichen und Räumen nicht fließend abgebildet werden.

#### 2.2.5.3 Elke Baumann

Funktionserfüllung ist die elementarste Bedingung der Architektur. Jeder Anlass für das Entstehen eines Hauses ist ein Nutzungsbedürfnis. (Baumann, 1990) Baumann identifiziert drei Primärfunktionen eines Gebäudes, ausgehend von den grundlegenden Wirkungen der Architektur: (Baumann, 1990, S. 36)

1. Schutzfunktion: Die Wirkung auf die Physis, das körperliche Wohlbefinden
2. Informationsfunktion: Die Wirkung auf die Psyche, die Widerspiegelung im Bewusstsein
3. Organisationsfunktion: Die Wirkung auf das räumliche Verhalten, die Bewegung im Raum

Baumann definiert in ihrer Dissertation (Baumann, 1990) die folgenden Entwurfsobjekte: Funktion, Raum, Gestalt und Konstruktion, wobei die letzteren zwei unter

dem Oberbegriff „raumbildende Elemente“ zusammengefasst werden (siehe Abbildung 13). In Anlehnung an (Scholz, 1984) definiert Baumann die Semantikkomponenten der Funktionen als Zeitkontext, Wirkungen und Forderungen. Die Semantik, sowie alle anderen Merkmale der Funktion beziehen sich nicht auf die Funktion selbst, sondern auf deren Materialisierung. (Baumann, 1990, S. 57)

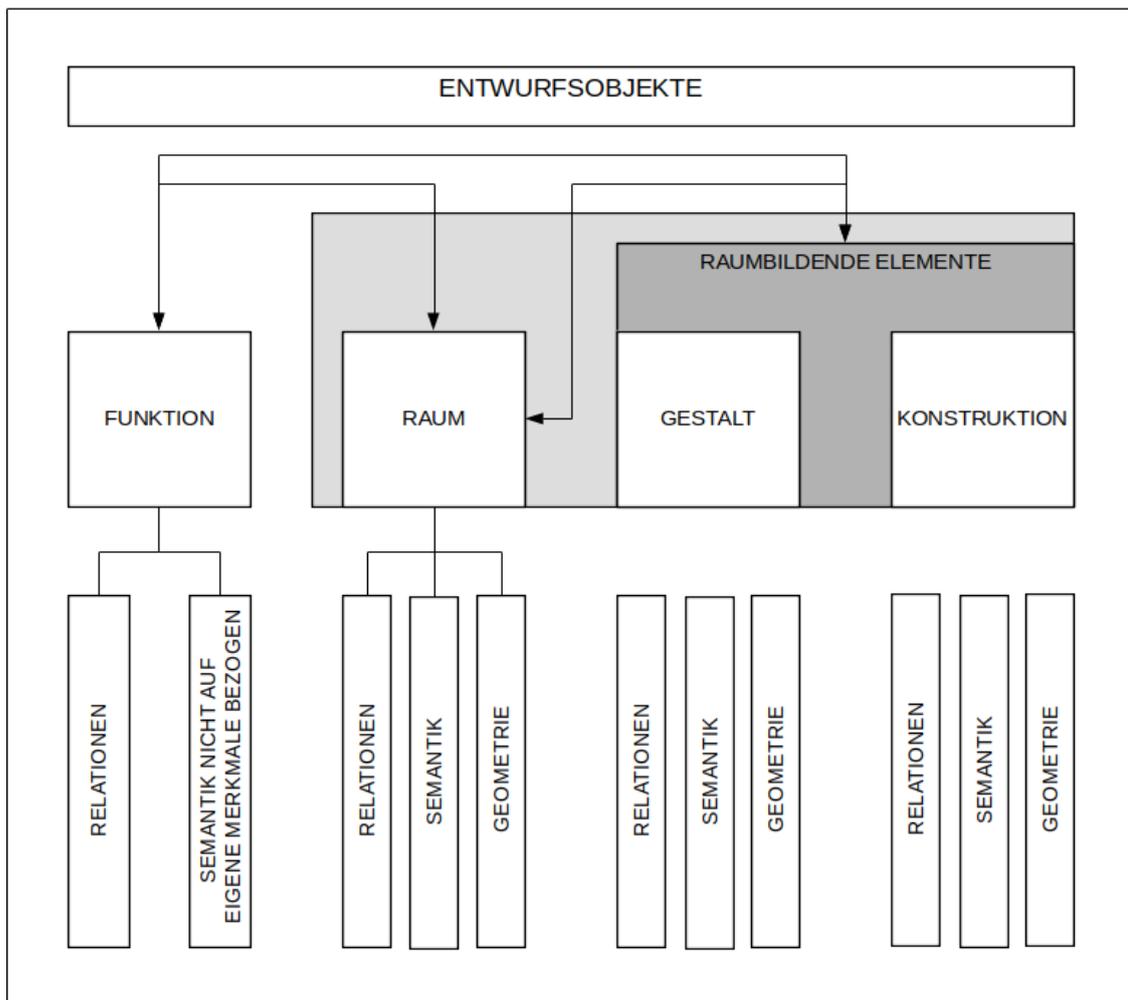


Abbildung 13: Darstellung der Entwurfsobjekte, aus (Baumann, 1990, S. 56)

Baumann schlägt auch ein Konzept zur Modellierung von Funktionenbereichen vor. Die Funktionenbereiche werden als Kreisfläche dargestellt, die in etwa proportional zur geforderten Fläche ist. Die Linien zwischen den Flächen geben die Beziehungen zwischen den Funktionenbereichen an. Das topologische Diagramm der Funktionenbereiche macht aber keine weiteren Festlegungen bezüglich der Lage oder Form der zu planenden Räumen. Von derselben abstrakten Topologie können mehrere Raumzuordnungsschemata abgeleitet werden. Diese Raumzuordnungsschemata zeigen sowohl die Lage als auch die geometrische Form der zu planenden Räumen.

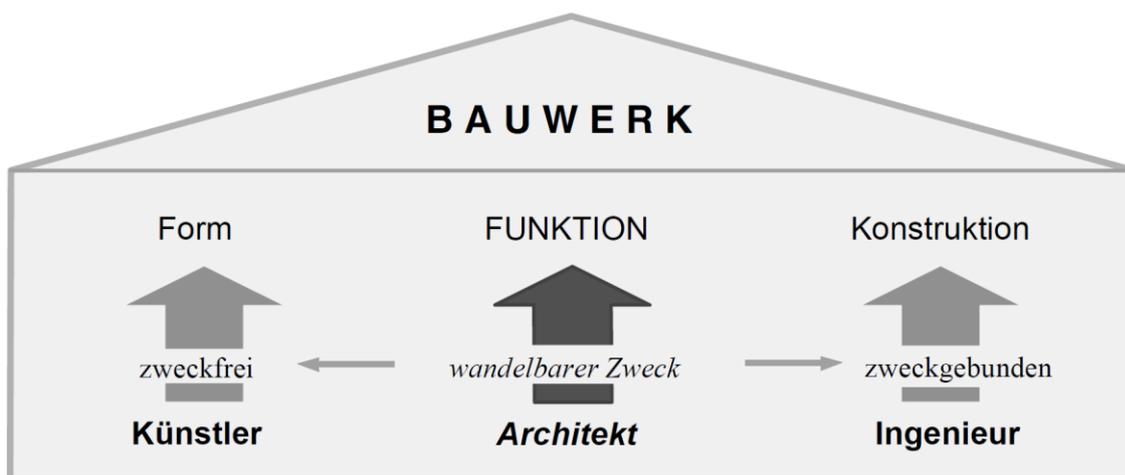
*Diskussion*

Während Baumann einen hohen Stellenwert der Funktionen und Funktionenstrukturen im Entwurfsprozess einräumt, schlägt sie kein durchgängiges, wissensbasiertes Konzept zur Funktionenmodellierung und Funktionenstrukturentwicklung vor. Sie stellt ein Konzept für eine Topologie der „Funktionen“ (eigentlich der Funktionsbereichen) vor, auf deren Grundlage der Planer nachfolgend weitere Modelle – Funktionszuordnungsschemata – erzeugen kann. Die Funktionsbereiche werden nicht mit Funktionenbezeichnungen in Verbindung gebracht, sondern greifen vor in den nachfolgenden Entwurfsprozessschritten und werden z.T. mit Namen von Räumen wie Küche, Elternzimmer, WC usw. bezeichnet.

2.2.5.4 Frank Steinmann

Steinmann erkennt verschiedene mögliche Einstiegspunkte in den Entwurfsprozess: Funktionsorientierter, formorientierter und konstruktionsorientierter Einstieg. Welcher Einstiegspunkt gewählt wird, hängt von der Art des formulierten Bedarfs, von der Komplexität des Entwurfsproblems und dessen Kontext, von seinem Neuheitsgrad, sowie von persönlichen Präferenzen des Planers.

Die Bedeutung des funktionenorientierten Einstiegs resultiert aus den Besonderheiten von Bauwerken als Entwurfsgegenstand. Deren Universalität als bauliche Hülle für verschiedenen Nutzungstechnologien bedeutet, dass eine explizite Analyse des Bauwerksnutzungszwecks nötig ist. Steinmann versteht die Funktion als Mittler zwischen Konstruktion und Form (siehe Abbildung 14).



**Abbildung 14: Funktion als Mittler zwischen Form und Konstruktion des Bauwerks, aus (Steinmann, 1997)**

Steinmann erkennt einen Mangel an allgemeingültigen Beschreibungen für diesen nutzungsspezifischen Zweck. (Steinmann, 1997, S. 28) Obwohl die funktionale Analyse

Teil der anrechenbaren Leistungen des Architekten darstellt, existieren keine genormten Präsentationsformen für funktionale Modelle. Deswegen können auch keine entsprechenden Funktionenstrukturen als Teil der Projektunterlagen entworfen werden. (Steinmann, 1997, S. 31)

Deswegen erarbeitet Steinmann in seiner Dissertation ein Funktionenmodell, welches mit Hilfe des Softwaretools FunPlan bearbeitet werden kann. Die Entwurfsobjekte in diesem Werkzeug sind Nutzungs- bzw. Struktureinheiten. Diese Objekte sind gemäß der frühen Planungsphase noch abstrakt und in hohem Maße unscharf. Konstruktive Elemente werden nicht betrachtet. Als Ergebnis wird eine Spezifikation ausgegeben, welche gewöhnlich als Raumprogramm bezeichnet wird (DIN 276/277). (Steinmann, 1997, S. 106)

### *Diskussion*

Das Funktionenmodell von Steinmann fokussiert sich auf Nutzungsfunktionen. Produktfunktionen sind nicht eingeschlossen. Darüber hinaus werden diese Funktionen lediglich als abstrakte Objekte behandelt, die keine Ein-/Ausgabeobjekte, Funktionenkontext oder ähnliche Merkmale besitzen. Es ist zwar möglich eine projektspezifische taxonomische Wissensbasis aufzubauen, oft erhalten die Funktionen aber Bezeichnungen wie *Küche, Bad, Wohnzimmer, Schlafzimmer* usw. (Steinmann, 1997, S. 106)

#### 2.2.5.5 Herbert Moelle

In seiner Dissertation (Moelle, 2006) schlägt Moelle ein Konzept für ein Modellierungswerkzeug zur Unterstützung des Architekten in den frühen Entwurfsphasen auf Basis semantischer Modelle. Laut seiner Vorstellungen soll zuerst das Raumprogramm in einer Excel-Tabelle eingetragen und geprüft werden, um die Nebenflächen auf Vollständigkeit zu prüfen. Dieses nach Räumen aufgelöste Flächenbedarfsprogramm wird einem Softwareassistenten (ALBERTI) übergeben, in welchem in einer Beziehungsmatrix die Prioritäten der Raumbeziehungen festgelegt werden können (siehe Abbildung 15). Mithilfe von vorbelegten Parametern kann das Tool die numerisch geforderten Flächen ermitteln.

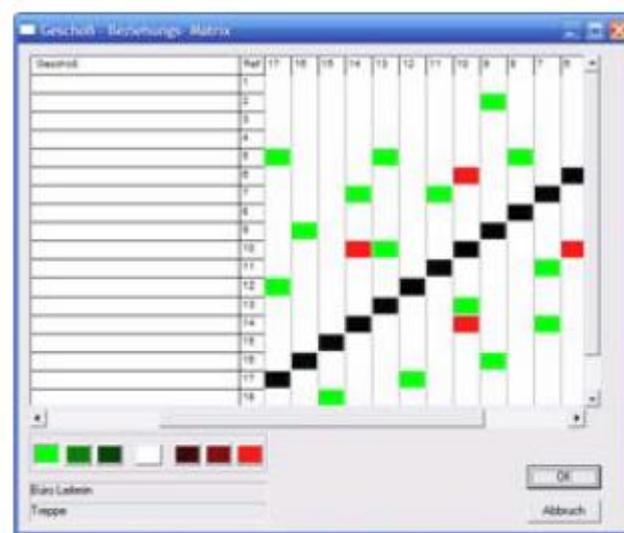


Abbildung 15: Beziehungsmatrix mit Prioritäten in ALBERTI, aus (Moelle, 2006, S. 292)

Ausgehend von der Beziehungsmatrix wird per Drag-and-Drop eine grafische Repräsentation der Grundrissfläche von dem Architekten erzeugt. Die Räume/Raumgruppen des Raumprogramms erscheinen in der TreeView auf der linken Seite und werden auf die entsprechende Geschossfläche gezogen, hier Geschoss(0) – Erdgeschoss. Die Grundrissfläche ist hier grau dargestellt (siehe Abbildung 16).

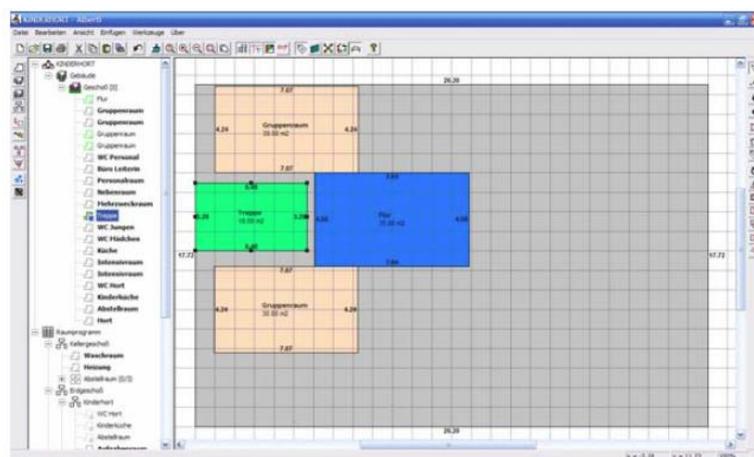


Abbildung 16: Bearbeitung des Grundrisses in ALBERTI, aus (Moelle, 2006, S. 294)

ALBERTI unterstützt neben eine Raumgruppenübersicht auch ein Bubblediagramm-View, in welchem die Beziehungen der Räume zueinander dargestellt werden können. Die Prioritäten der Beziehungen werden durch die Linienfarbe gekennzeichnet. Schließlich kann das Modell einem Layout-Automaten übergeben werden, mit dessen Hilfe automatisiert ein Grundriss erarbeitet werden kann. (Moelle, 2006, S. 294)



### *Diskussion*

Das von Moelle vorgeschlagene Softwarewerkzeug-Konzept wurde entwickelt, um die frühen Entwurfsphasen zu unterstützen. Es basiert auf gängige Konzepte, die den meisten Planern bekannt sein würden – Raumprogramm, Grundriss, Räume. Manche dieser Konzepte, wie das Raumprogramm oder das Bubble-Diagramm mit priorisierbaren räumlichen Beziehungen, sind funktionenbezogen. Es werden jedoch keine Funktionen modelliert, bzw. es wird mit funktionenbezogenen Entwurfsobjekten gearbeitet, ohne die Funktion explizit und von der Form getrennt darzustellen. Dieses Softwarewerkzeug-Konzept betont den Bedarf an einer wissensbasierten Funktionenmodellierung in der Konzeptphase des architektonischen Entwurfs.

#### 2.2.5.6 dRofus

dRofus ist ein Software-Werkzeug, welches mit seinem „Graphical function planner“ Modul (dRofus Graphical function planner, 2016) die Möglichkeit bietet, einen Baum von Funktionen zu erstellen und Nutzungsfunktionen mit Räumen zu verknüpfen. Dabei wird dem Raum eine Referenznummer der jeweiligen Funktion zugeordnet. Ferner kann pro Raum festgelegt werden, welche Flächengröße für eine bestimmte Nutzungsfunktion gefordert wird. dRofus kann als Ergebnis ein Raumprogramm in einem gängigen Format, z.B. Word-Dokument oder PDF, exportieren. Darüber hinaus kann das Raumprogramm über IFC für das BIM-Modell zur Verfügung gestellt werden.

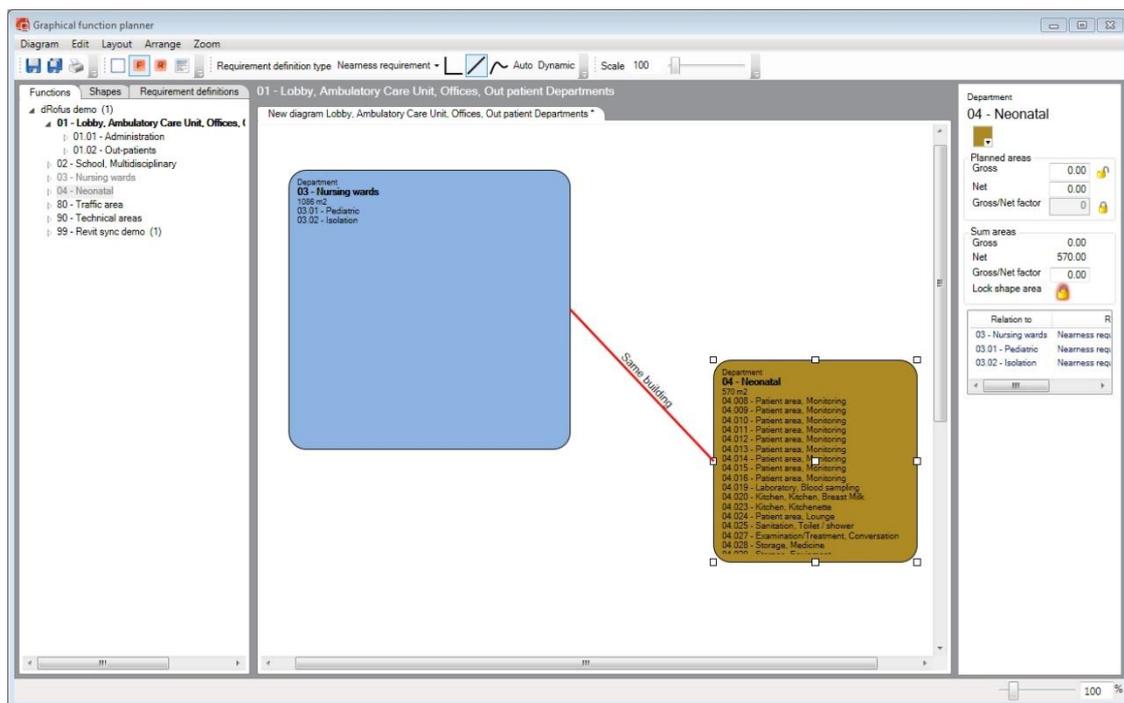


Abbildung 19: dRofus Graphical Function Planner, aus (dRofus Graphical function planner, 2016)

Es gibt jedoch keine Möglichkeit, Beziehungen zwischen den Nutzungsfunktionen abzubilden. Dementsprechend können keine Funktionenflüsse bzw. keine Austauschbeziehungen dargestellt werden. Darüber hinaus fehlen Verknüpfungen zu weiteren Klassen von Entwurfsobjekten wie Produktfunktionen, Wirkungen, Forderungen und Zeitkontext. Es fehlt auch die Möglichkeit, Taxonomien von Funktionsklassen anzulegen, um z.B. die Modelle in Regelbasen oder Ontologien automatisch zu prüfen bzw. auszuwerten.

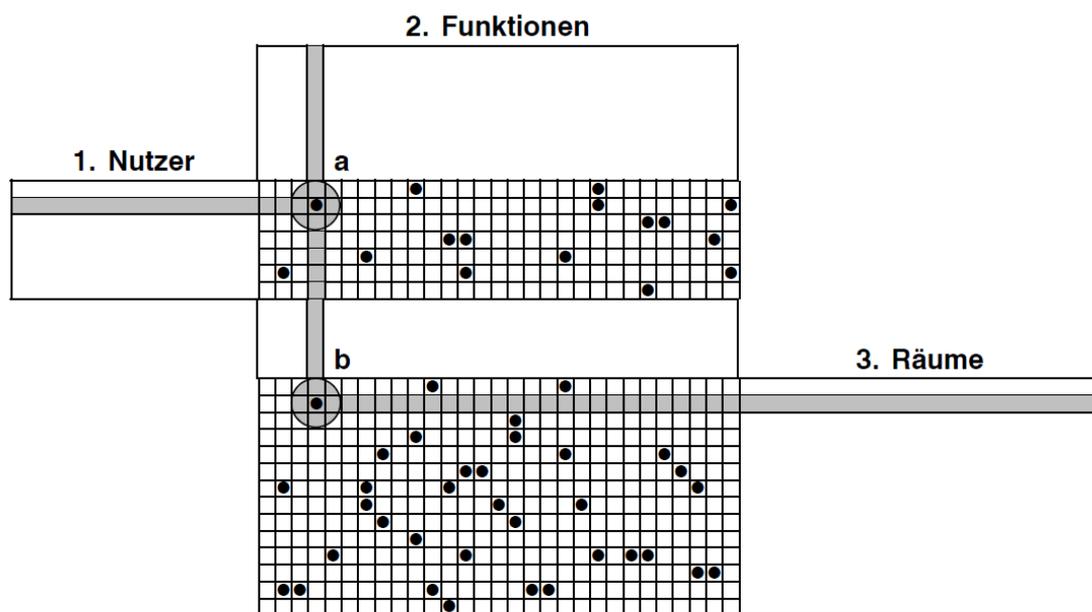
#### 2.2.5.7 Projekt „Autobahn-Raststätte 2000“

Das Projekt „Autobahn-Raststätte 2000“ wurde in den Neunzigerjahren im Studiengang Architektur an der Universität GH Essen als praktische Übung im methodischen Entwerfen durchgeführt. (Schulz & Wölki, ME-Projektbericht Autobahn-Raststätte "2000", 2007) In diesem Projekt sollte ein Konzept für eine moderne Autobahnraststätte entworfen werden. Um den Praxisbezug zu verstärken, wurden als Grundlage die Pläne – Lageplan, Raumprogramm und Funktionsschema – des bestehenden Rastplatzes „Schallerskreuz“ verwendet, der damals ausgebaut werden sollte. Das vorhandene Funktionsschema beschrieb ganz grob die bestehenden Räume bzw. Gebäude – Shop, Terrasse, Spüle, Wirtschaftsbereich, Anlieferung.

Nachdem Objektinformationen beschaffen, verarbeitet und analysiert wurden, konnten die Objektmerkmale ermittelt und bestimmt werden. Zu diesen Merkmalen gehören: (Schulz & Wölki, ME-Projektbericht Autobahn-Raststätte "2000", 2007)

- Nutzermerkmale, die aussagen, von wem oder was ein Objekt benutzt wird,
- Typmerkmale, die aussagen um was für ein Objekttyp es sich handelt,
- Verwendungsmerkmale, die aussagen, für welchen Zweck ein Objekt verwendet werden soll,
- Eigenmerkmale, die Träger einer „Botschaft“ sind, mit welcher sich der Bauherr oder Nutzer identifiziert und meist über das äußere und innere Erscheinungsbild des Objektes etwas aussagen.

Auf dieser Grundlage wurde als Nächstes ein Objektplan erstellt: Es wurde eine Objektentwurfsleitidee entwickelt, die verbal und bildlich dargestellt wurde. Danach wurden die Objektnutzer, -funktionen und -räume mit Hilfe einer sogenannten Objektmatrix ermittelt, strukturiert und verknüpft (siehe Abbildung 20). (Schulz & Wölki, ME-Projektbericht Autobahn-Raststätte "2000", 2007) Diese Objektmatrix ist von besonderem Interesse aus Sicht der Funktionenmodellierung, da sie eine Auflistung und Verknüpfung von Nutzungsfunktionen darstellt. Eine Auflistung der Funktionen der Autobahnraststätte ist in Anhang E zu finden.



**Beispiel:** Ein Nutzer „Trucker“ benötigt zur Ausübung der Funktion „Speisen und Getränke verzehren“ einen Raum „Fernfahrer-Gastraum“.

Abbildung 20: Darstellung von Verknüpfungen zwischen Nutzern, Tätigkeiten, und Räumen in einer Objektmatrix, aus (Schulz & Wölki, ME-Projektbericht Autobahn-Raststätte "2000", 2007), (Schulz & Wölki, Autobahnraststätte "2000" Objektmatrix Teil 1 Gastorientierter Bereich, 2016)

In der drei-Komponenten-Matrix werden die Beziehungen zwischen Nutzern, Funktionen und Räumen dargestellt. Die Abhängigkeiten von Nutzern und Funktionen

sind in der oberen Hälfte der Matrix ablesbar, die Beziehungen zwischen den Funktionen und Räumen in der unteren Hälfte. Wie in der obigen Abbildung ersichtlich, treffen sich eine Zeile „Nutzer“ und eine Spalte „Funktionen“ im Punkt „a“, Die Spalte „Funktionen“ wiederum trifft sich mit einer Zeile „Räume“ im Punkt „b“. Mit einer solchen Matrix können zum Beispiel Sachverhalte wie „Ein Nutzer „Trucker“ benötigt zur Ausübung der Funktion „Speisen und Getränke verzehren“ einen Raum „Fernfahrer-Gastraum“. (Schulz & Wölki, ME-Projektbericht Autobahn-Raststätte "2000", 2007) Während das in Abbildung 20 dargestellte Beispiel ein kleiner Ausschnitt der Objektmatrix der Autobahnraststätte ist, sind die vollständigen Matrizen in folgenden Quellen zu finden: (Schulz & Wölki, Autobahnraststätte "2000" Objektmatrix Teil 1 Gastorientierter Bereich, 2016), (Schulz & Wölki, Autobahnraststätte "2000" Objektmatrix Teil 2 Personalorientierter Bereich, 2016), (Schulz & Wölki, Autobahnraststätte "2000" Objektmatrix Teil 3 Betriebsorientierter Bereich, 2016).

### *Diskussion*

Im Projekt „Autobahnraststätte 2000“ wurden Nutzungsfunktionen, Nutzer und Räume miteinander verknüpft. Daraus kann der Bedarf an einer verknüpften Modellierung von Nutzern, Funktionen und Realisierungsobjekte der Funktionen abgeleitet werden, der als Anforderung an das hier zu konzipierende Funktionenmodell weitergegeben werden kann. Die Darstellung mit Hilfe einer Matrix hat den Vorteil, dass eine große Anzahl von Verknüpfungen relativ kompakt und übersichtlich dargestellt werden kann. Das geschieht aber leider auf Kosten des Informationsgehaltes der Darstellung. In einer solchen Matrix können zum Beispiel keine Funktionsflussgrößen, Zeitkontexte, Wirkungen und Forderungen von Funktionen dargestellt werden. Wie Anhang E zu entnehmen ist, wurden die Funktionen meist korrekt durch eine Substantiv-Verb-Form formuliert. Die Funktionen- und Komponentenhierarchien des Projektes „Autobahnraststätte 2000“ können daher zur Formulierung eines Verifikationsbeispiels dieser Arbeit beitragen.

## 2.3 Ergebnisse der Analyse

Die primäre Aufgabe eines Entwicklers ist es, die Eigenschaften eines Produkts – Bauwerk, Maschine, Software – derart festzulegen, dass es seine beabsichtigten Funktionen in einer bestimmten Qualität erfüllen kann. (Albers & Wintergerst, The Contact and Channel Approach (C&C<sup>2</sup>-A): relating a system's physical structure to its functionality, 2013) Hierzu werden neben den Zielen und Funktionen auch Konzepte entwickelt, welche die Funktionen in eine Form übersetzen, welche den Produktkomponenten bestimmte Funktionen zuordnen, sowie Schnittstellen zwischen diesen Komponenten und die Zuordnung der Komponenten zueinander festlegen. (Haberfellner, Fricke, de Weck, & Vössner, 2012, S. 193) Die Funktion wird dabei als der Nutzen, der Zweck oder

der Wert eines Produktes für den Nutzer verstanden. Die Form, die aus den Produktkomponenten und deren Anordnung besteht, ist der Träger der Funktion. (Haberfellner, Fricke, de Weck, & Vössner, 2012, S. 185)

In der Entwicklungsmethodik der Architektur wird der Funktionenbegriff vor allem im Sinne der Nutzungsfunktionen interpretiert. Die Mehrheit der untersuchten Funktionenmodelle aus diesem Bereich bildet ausschließlich Nutzungsfunktionen und keine weiteren Funktionenarten ab. Von Both identifiziert aber zwei Konkretisierungsebenen des Produkts: Die elementbezogene Objektstruktur und die räumliche Objektstruktur. Nutzungsfunktionen gehören zur räumlichen Objektstruktur. (von Both, 2006, S. 302) Für ein ganzheitliches, integriertes Modell wird aber auch die zweite, elementbezogene Ebene benötigt, zu welcher die Produktfunktionen gehören.

Im Laufe des Entwicklungsprozesses werden auf beiden Konkretisierungsebenen die entsprechenden Funktionenstrukturen – Nutzungsfunktionenstruktur und Produktfunktionenstruktur – erarbeitet. Danach werden auf dieser Grundlage die Elemente entwickelt, welche die Funktionen realisieren und die nächste Konkretisierungsstufe im Modellraum darstellen. Die Entwicklungsergebnisse auf einer Modellebene werden auf der nächsten konkretisiert und können dort evaluiert und verifiziert werden. (Huang, 2002, S. 162)

Das bedeutet, dass die Entwicklungsergebnisse der Funktionenstrukturentwicklung auf der nächstkonkreteren Modellebene evaluiert und verifiziert werden können. Für die Nutzungsfunktionen ist dies die Ebene der Funktionenbereiche. Da eine Evaluierung und Verifikation der Ergebnisse der Funktionenstrukturentwicklung (z.B. Funktionenstrukturvarianten) eines der Ziele dieser Arbeit ist, soll das zu entwickelnde Funktionenmodell auch die Realisierungsebene der Funktionen berücksichtigen. Die Modellebene der Nutzungsfunktionen ist im Modellraum von von Both unmittelbar mit den Modellebenen der Funktionenbereiche und der Produktfunktionen verknüpft. Aus diesen Überlegungen heraus kann geschlussfolgert werden, dass die Modellebenen der Nutzungsfunktionen, abstrakten Funktionenbereichen und Produktfunktionen im zu entwickelnden Funktionenmodell berücksichtigt werden sollen, um die entsprechenden Verknüpfungen abbilden und die Funktionenmodellierungsergebnissen evaluieren und verifizieren zu können.

Während es im Bereich der Entwicklungsmethodik der Mechatronik bereits detaillierte Vorarbeiten für die Modellebenen der Produktfunktionen und deren Funktionenträger gibt, fehlen entsprechende, kohärente Modelle für die architektonischen Nutzungsfunktionen und deren Realisierungsobjekten – den abstrakten Funktionenbereichen. Produktfunktionenmodelle aus der Mechatronik können auf ihre Anwendbarkeit in der Architektur überprüft und ggf. erweitert werden. Modelle der

Nutzungsfunktionen und der abstrakten Funktionenbereiche müssen dagegen in dieser Arbeit neu konzipiert und mit dem Produktfunktionenmodell verknüpft werden.

Der Funktionenbegriff wird im Bereich der architektonischen Entwicklungsmethodik oft nicht eindeutig verwendet. Oft werden Funktionenbereiche oder Räume als Funktionen bezeichnet – z.B. Funktion *Bad* oder *Küche*. Die entsprechenden Funktionenmodelle benutzen lediglich Freitextbeschreibungen der Funktionen, die zwar in Handskizzen oder kleineren Modellen mit einfacheren Anwendungen teilweise noch gut zu gebrauchen, aber für die wissensbasierte, rechnergestützte Modellierung und Handhabung komplexer Modelle weniger geeignet sind. Entsprechend soll das zu entwickelnde Funktionenmodellierungskonzept eine klare Unterscheidung zwischen Funktionen und anderen Entwurfsobjekten machen. Darüber hinaus soll sowohl die Semantik der Funktionen selbst, als auch die Semantik der Beziehungen zwischen den Funktionen und den weiteren Entwurfsobjekten eindeutig festgelegt werden. Dies kann z.B. durch die Verwendung von entsprechenden Taxonomien erreicht werden.

Das Systems Engineering gibt ein generisches Vorgehensmodell für die Entwicklung komplexer Systeme vor. Entsprechende Vorgehensmodelle existieren als Richtlinien zum Entwickeln und Konstruieren technischer Produkte (VDI 2221) und zur Entwicklung mechatronischer Systeme. Während diese Vorgehensmodelle generisch und auf einer allgemeinen Abstraktionsebene beschrieben sind, schlägt die Funktionenanalyse für den Bereich der Funktionenmodellierung ein konkreteres Vorgehensmodell vor. Dieses kann als Ausgangspunkt für die Konzeption eines systematischen Vorgehens zur Funktionenmodellierung architektonischer Systeme dienen.

Im Bereich der Entwicklung bautechnischer Systeme schlägt von Both ein lebenszyklusorientiertes, phasenbasiertes Vorgehensmodell vor, welches auf systemtechnischen Grundsätzen aufgebaut ist. Dadurch eignet es sich hervorragend als Referenzrahmen für ein disziplinübergreifendes Transfer von Funktionenmodellierungskonzepten zwischen den Bereichen der Mechatronik und der Architektur. Von den untersuchten Vorgehensmodellen aus dem Bereich der Architektur, ist SyProM das mit Abstand detaillierteste und es korrespondiert am besten mit den oben erwähnten systemtechnischen und mechatronischen Vorgehensmodellen. Deswegen kann das SyProM-Vorgehensmodell als Referenz zur Einordnung des zu konzipierenden systematischen Vorgehens zur Funktionenmodellierung architektonischer Systeme in den Entwicklungsprozess dienen.



# 3 Lösungsansatz und weiterführende Anforderungen

## 3.1 Lösungsansatz

Die Analyse der Grundlagen hat gezeigt, dass die integrierte Modellierung von Nutzungs-, Produktfunktionen und Funktionenbereichen in der Lage ist, einen grundlegenden Lösungsansatz zur Unterstützung eines funktionsorientierten Zugangs zur planerischen und konstruktionstechnischen Problematik in der Industriepanung beizusteuern.

Während es bereits teilweise Forschungsergebnisse im Bereich der Funktionenmodellierung architektonischer Systeme gibt, fehlt noch ein integriertes Modell, welches die kohärente, vernetzte Abbildung von Nutzungs-, Produktfunktionen und räumlichen Funktionenbereichen ermöglicht. Demzufolge fehlen auch entsprechende systematische Vorgehensweisen und Modellierungswerkzeuge. Ein mögliches Konzept wird in der vorliegenden Arbeit durch die folgende *Vorgehensweise* entwickelt (s. Abbildung 21):

- Interdisziplinäre Einordnung und Erarbeiten eines systematischen Vorgehens zur Funktionenmodellierung in der Industriepanung auf Grundlage der Forschungsergebnisse aus Architektur, Mechatronik und Funktionenanalyse in bestehenden Planungsmethodiken.
- Ermitteln der Entwurfsobjekte, der Wechselwirkungen zwischen ihnen, und der entsprechenden Modellebenen und -sichten. Entwicklung eines Nutzungsfunktionenmodells und einer graphischen Notation zur Konzeptplanung von Industriebauwerken, mit Hilfe von Forschungsergebnissen aus Architektur, Mechatronik und Funktionenanalyse.
- Überprüfen von Produktfunktionenmodellen und Notationen aus der Mechatronik im Hinblick auf ihre Anwendung in der Industriepanung und ggf. Weiterentwicklung und Integration dieser mit dem Nutzungsfunktionenmodell der Industriepanung.
- Ermitteln der Entwurfsobjekte und Wechselwirkungen zwischen ihnen, und Entwicklung einer Notation und eines Modells der räumlichen Funktionenbereiche als Übergang vom hier erarbeiteten integrierten Funktionenmodell zu weiteren Teilmodellen von Industriebauwerken mit Hilfe von Forschungsergebnissen aus der Architektur.

- Erstellung einer graphischen Visio-Toolbox zur Unterstützung der Funktionenmodellierung von Industriebauwerken auf Grundlage der erarbeiteten Informationsmodelle und graphischen Notationen.

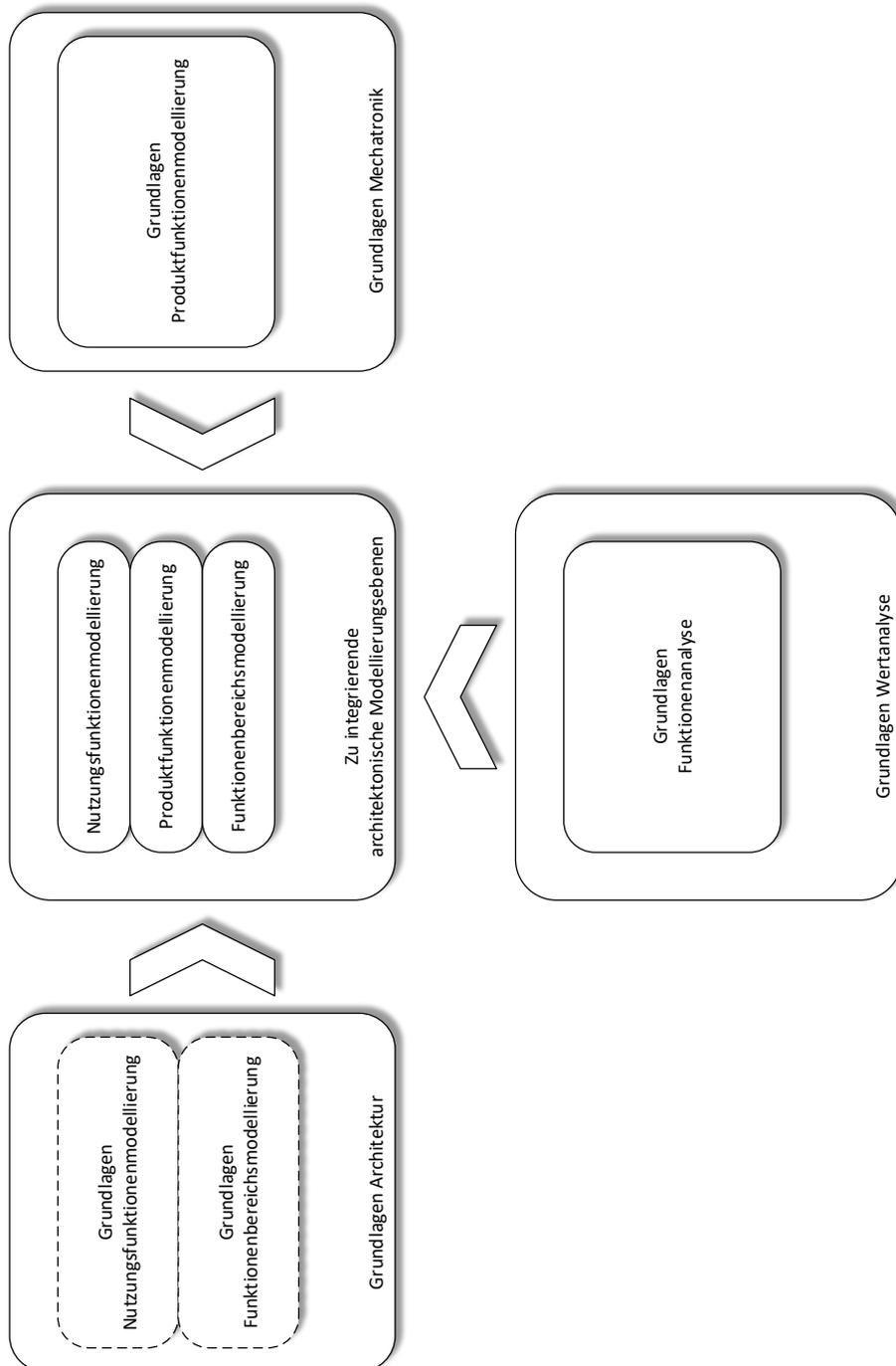


Abbildung 21: Konzeptbild des Lösungsansatzes

## 3.2 Anforderungen an den Lösungsansatz

Der aktuelle Stand der Dinge weist einige Defizite auf, welche der Lösungsansatz beheben soll. Die zentralen Punkte des Beitrags dieser Arbeit, welche zur Schließung dieser Lücken erforderlich sind, werden im Folgenden umrissen.

Nutzungs- und Produktfunktionen können in vielfältigen Beziehungen zueinander treten. Bisherige Modelle betrachten vor allem die Produktfunktionen und meist unzureichend die Nutzungsfunktionen. Die Modelle der Nutzungsfunktionen sind von einer geringeren Schärfe, die eine gemeinsame Modellierung beider Funktionsarten erschwert, bzw. den von der Modellierung zu erwartenden Nutzen verringert. Darüber hinaus gibt es keine Modelle, welche die Beziehungen zwischen Produkt- und Nutzungsfunktionen ganzheitlich erfassen.

In dieser Arbeit soll zunächst das Modell der Nutzungsfunktionen in derselben Detailtiefe wie die aus dem Stand der Dinge bekannten Produktfunktionsmodellen erarbeitet werden. Hierzu müssen die dazugehörigen Entwurfsobjekte und deren Beziehungen identifiziert und entsprechende Notationselemente und Informationsmodelle erarbeitet werden. Anschließend sollen die vielfältigen Beziehungen zwischen beiden Modellen untersucht und entsprechende Modellkonzepte zu ihrer Abbildung erarbeitet werden. Beispiele für diese Beziehungen und die damit verbundenen Aufgaben werden im Folgenden erläutert.

Es sollen Fragestellungen des Austausches von Funktionsflussobjekten zwischen Produkt- und Nutzungsfunktionen untersucht werden. Weitere Beziehungsarten sind ebenso zu untersuchen: hierarchische und teleologische Beziehungen. Da es bisher keine Konzepte zur Strukturierung von Nutzungs- und Produktfunktionen in derselben Funktionsstruktur gibt, soll diese Arbeit ein Konzept zur gemeinsamen Modellierung von beiden Funktionsarten entwickeln.

Nutzungs- und Produktfunktionen sind mit den Zwecken verbunden, welche der Nutzer mit dem zu modellierenden System beabsichtigt. Funktionen verschiedener Arten und auf verschiedenen Abstraktionsebenen haben einen unterschiedlich starken und unterschiedlich gearteten Bezug zu diesen Zwecken. Diese Arbeit soll untersuchen, welche zweckorientierten (teleologischen) Beziehungen zwischen Nutzungs- und Produktfunktionen existieren und entsprechende Informationsmodelle und Notationselemente entwickeln, um diese abzubilden.

Der aktuelle Stand der Dinge kennt neben Funktionen weitere Entwurfsobjekte wie Funktionenbereiche, funktionale Wirkungen und Forderungen, Ein- und Ausgabeobjekte, Realisierungsobjekte, sowie weitere Objektarten. Es gibt jedoch kein integriertes Modell, welches diese Objekte in ihrer Gesamtheit in Beziehung zu Produkt-

und Nutzungsfunktionen setzt. Dementsprechend fehlen bestimmte Modellierungssichten, die für einen nahtlosen, systematischen Übergang von abstrakteren zu konkreteren Modellen erforderlich wären. So zum Beispiel fehlen verknüpfte hierarchische und teleologische Sichten auf Produkt- und Nutzungsfunktionen, deren Flächenforderungen und den entsprechenden Funktionenbereichen.

Funktionenbereiche und Funktionen werden im Stand der Dinge oft verwechselt und miteinander vermischt. In dieser Arbeit soll eine klare Definition dieser Entwurfsobjekte und deren Beziehungen untereinander erarbeitet werden. Ferner soll eine neue Struktur der Funktionenbereiche entwickelt werden, die neben der Struktur der Nutzungsfunktionen existiert, und mit dieser verknüpft werden kann.

Der Lösungsansatz soll Konzepte zur Modellierung und Notation der verschiedenen Entwurfsobjekte und deren Sichten ermöglichen, so dass ein nahtloser Übergang von abstrakteren zu konkreteren Modellsichten – zum Beispiel von Funktionen zu Flächenforderungen und Funktionenbereichen – sichergestellt wird. Durch die integrierte Modellierung sollen neue Vorgehensweisen zur Variantengenerierung und Optimierung von Entwürfen durch iterativen Wechsel zwischen den verschiedenen Modellebenen ermöglicht werden. Dabei sollen ein mehrdimensionales, systemisches Durchschreiten des Modellraumes unter Berücksichtigung von hierarchischen und teleologischen Beziehungen der Entwurfsobjekte zur Variantengenerierung unterstützt werden.

Die verschiedenen Sichten des integrierten Nutzungs- und Produktfunktionenmodells werden jeweils unterschiedliche Facetten der multiskalierbaren Funktionenmodellierung in der Industrieplanung zeigen. Der Lösungsansatz soll darüber hinaus eine übergreifende, informationstechnische Sicht – ein integriertes Informationsmodell – zur Verfügung stellen.

Dieses Konzeptmodell soll mit einer Standardnotation wie UML erarbeitet werden. Das Konzeptmodell soll die Konzepte der Entwurfsobjekte und deren Zusammenhänge als Klassendiagramme darstellen, so dass einerseits eine übergreifende, informationstechnische Sicht festgelegt wird. Andererseits soll dieses Modell als Vorarbeit zur Entwicklung von Softwaretools zur multiskalierbaren Funktionenmodellierung in der Industrieplanung verwendet werden können.

### 3.3 Weiterführende Anforderungen an den Lösungsansatz

Bei der Entwicklung der oben beschriebenen Modelle, Notationen und systematischem Vorgehen sind verschiedene Punkte zu berücksichtigen, die im Folgenden als weiterführende Anforderungen formuliert werden.

*Weiterführende Anforderungen an das zu konzipierende systematische Vorgehen:*

- Es soll im Rahmen der Konzeptplanungsphase der Industrieplanung anwendbar sein.
- Es soll eine Ermittlung und Erarbeitung der Nutzungsfunktionen unabhängig von der Art ihrer Realisierung ermöglichen.
- Es soll den abstrakten, funktionalen Entwurf von dem Entwurf der konkreten räumlichen Struktur getrennt untersuchen. Letzterer benötigt die Berücksichtigung von mehreren zusätzlichen Gesichtspunkten (konstruktive, gestalterische usw.) und befindet sich außerhalb des Untersuchungsbereiches dieser Arbeit. (Scholz, 1984, S. 27)
- Es sollte flexibel einsetzbar sein und verschiedene Vorgehensweisen unterstützen – sowohl vom Ganzen zum Einzelnen, als auch umgekehrt. (Scholz, 1984)
- Es soll ein iteratives Vorgehen bei der Entwicklung von Nutzungsfunktionen-, Produktfunktionenstrukturen und Struktur der räumlichen Funktionenbereiche ermöglichen.
- Es soll ein ziel- und bedarfsorientiertes Planungsvorgehen fördern.

*Weiterführende Anforderungen an die zu entwickelnden Funktionen- und Funktionsbereichsmodelle:*

- Analyse der relevanten Abstraktions- und Modellierungsebenen und Identifikation der Entwurfsobjektarten, welche die Schnittstellen der Nutzungsfunktionen zu ihren Ausprägungen definieren
- Klare Differenzierung zwischen den Entwurfsobjektclassen der Nutzungsfunktionen, Produktfunktionen, Funktionenbereiche und den weiteren verwandten Entwurfsobjekten auf verschiedenen Abstraktions- und Modellierungsebenen
- Klare Differenzierung auch hinsichtlich der Wechselwirkungen und Beziehungen dieser Entwurfsobjekte untereinander
- Rechnerverarbeitbarkeit der Funktionenmodelle – die grundsätzliche Möglichkeit, Modelle in Algorithmen wie zum Beispiel Machine Learning und Regelbasen einzubinden

- Sicherstellung der Kohärenz der Teilmodelle der Nutzungs-, Produktfunktionen und der räumlichen Funktionenbereiche im Hinblick auf ihrer Integration und Vernetzung
- Erarbeitung von Konzepten zur Aufdeckung und Handhabung semantischer Wechselwirkungen zwischen den Entwurfsobjekten

### *Weiterführende Anforderungen an die zu erarbeitende graphische Notation*

- Abbildung der Funktionen- und Funktionenbereichsmodelle, der darin enthaltenen Elemente, deren Wechselwirkungen und Struktur
- Sicherstellung der Kohärenz der Notation der Nutzungsfunktionen mit der Notation der Produktfunktionen und der räumlichen Funktionenbereiche. Einbeziehung bestehender Modellierungsnotationen und -Techniken soweit dies zielführend ist.
- Nutzbarkeit als Kommunikationsmedium für die an der Konzeptplanung beteiligten Akteure – aussagekräftige Inhalte und verständliche graphische Darstellung
- Erarbeitung von Konzepten zur übersichtlichen Darstellung und benutzerfreundlichen Handhabung komplexerer Modelle
- Nutzbarkeit als graphische Darstellung des rechnerverarbeitbaren Funktionenmodells

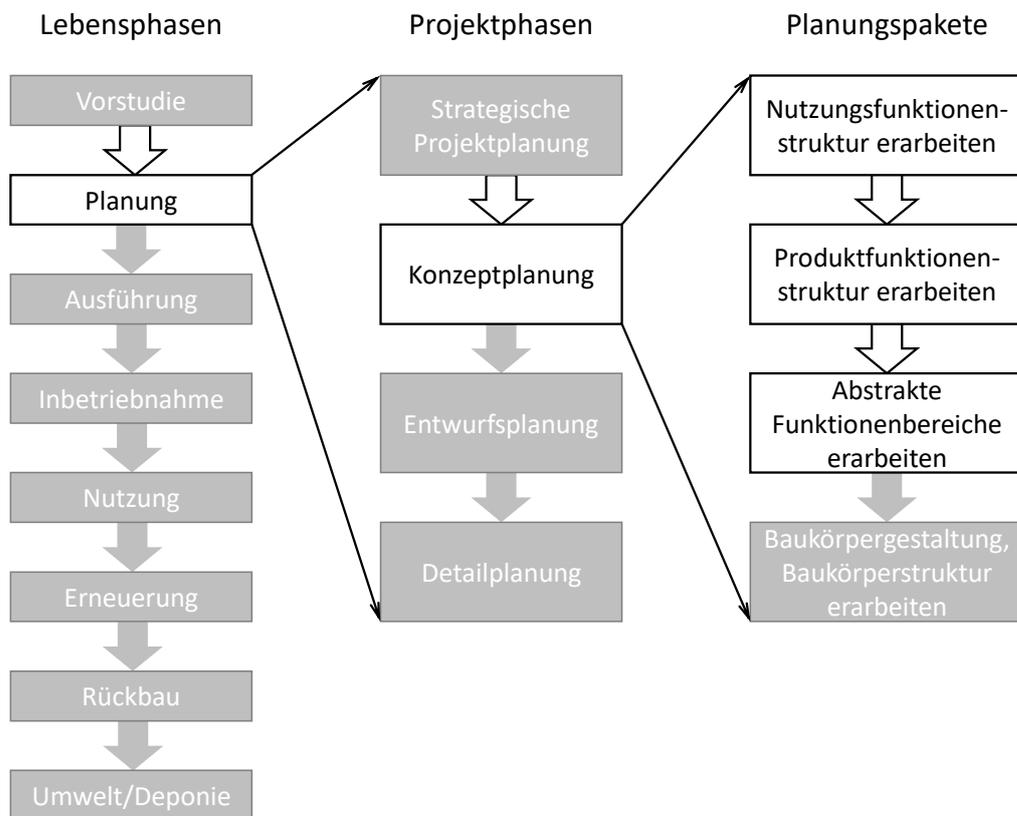
## 4 Konzept zur multiskalierbaren Funktionenmodellierung in der Industrieplanung

### 4.1 Einordnung des systematischen Vorgehens zur Funktionenmodellierung im Planungsprozess

Als Referenzmodell zur Einordnung des systematischen Vorgehens zur Funktionenmodellierung in der Industrieplanung wird das in der Analyse der Grundlagen vorgestellte (siehe Kapitel 2.2.5.7) und von von Both erarbeitete lebenszyklusorientierte SyProM-Vorgehensmodell (siehe Kapitel 2.1.2) herangezogen. (VON BOTH, 2006, S. 293) Die Projektphasen im lebenszyklusorientierten Vorgehensmodell sind die strategische Planung, die Konzeptplanung, die Entwurfsplanung und die Detailplanung. Das in dieser Arbeit erarbeitete systematische Vorgehen zur Funktionenmodellierung ist der Projektphase Konzeptplanung zuzuordnen. (von Both, 2006, S. 293)

Der Erarbeitung von Nutzungs- und Produktfunktionen sind demzufolge mehrere Schritte vorgelagert (s. Abbildung 4). Solche Schritte sind z.B. die Analyse der Umgebungssysteme und das Erarbeiten des Zielkonzeptes. Die Planungsergebnisse dieser Schritte fließen in die Funktionenstrukturentwicklung ein, und werden in deren weiteren Verlauf konkretisiert und weiterentwickelt.

So werden z.B. die funktionalen Aspekte des übergreifenden Zielkonzepts durch die Auswahl und Verknüpfung der entsprechenden Nutzungsfunktionen als Funktionenstruktur formuliert, konkretisiert, weiterentwickelt und zur Verwendung in anderen Lebenszyklusphasen bereitgestellt. Auf dieser Weise wird eine konsequente Ausrichtung der Produktentwicklung an den funktionalen Aspekten des Zielkonzeptes unterstützt.



**Abbildung 22: Einordnung der Funktionenmodellierungsschritte im lebenszyklusorientierten SyProM-Vorgehensmodell, in Anlehnung an (von Both, 2006)**

Die Modellierung der abstrakten räumlichen Funktionsbereiche stellt aus Sicht des systematischen Vorgehens zur Funktionenmodellierung einen Übergang – eine Schnittstelle – zu weiteren Planungspaketen und Phasen dar und legt die Grenze des Untersuchungsraums dieser Arbeit fest.

## 4.2 Systematisches Vorgehen zur multiskalierbaren Funktionenmodellierung

Zur Erarbeitung eines systematischen, schrittweisen Vorgehens zur multiskalierbaren Funktionenmodellierung in der Industrieplanung werden Forschungsergebnisse aus mehreren Disziplinen – Funktionenanalyse, Mechatronik und Architektur – herangezogen.

Die Funktionenanalyse beschreibt ein generisches Verfahren zur Entwicklung von Funktionsstrukturen, welches als Ausgangsbasis zur Festlegung des systematischen Vorgehens zur Funktionenmodellierung in der Industrieplanung dient (Akiyama, 1994, S. 30), auch (VDI2803, 1996, S. 5). Dieses besteht aus folgenden Schritten:

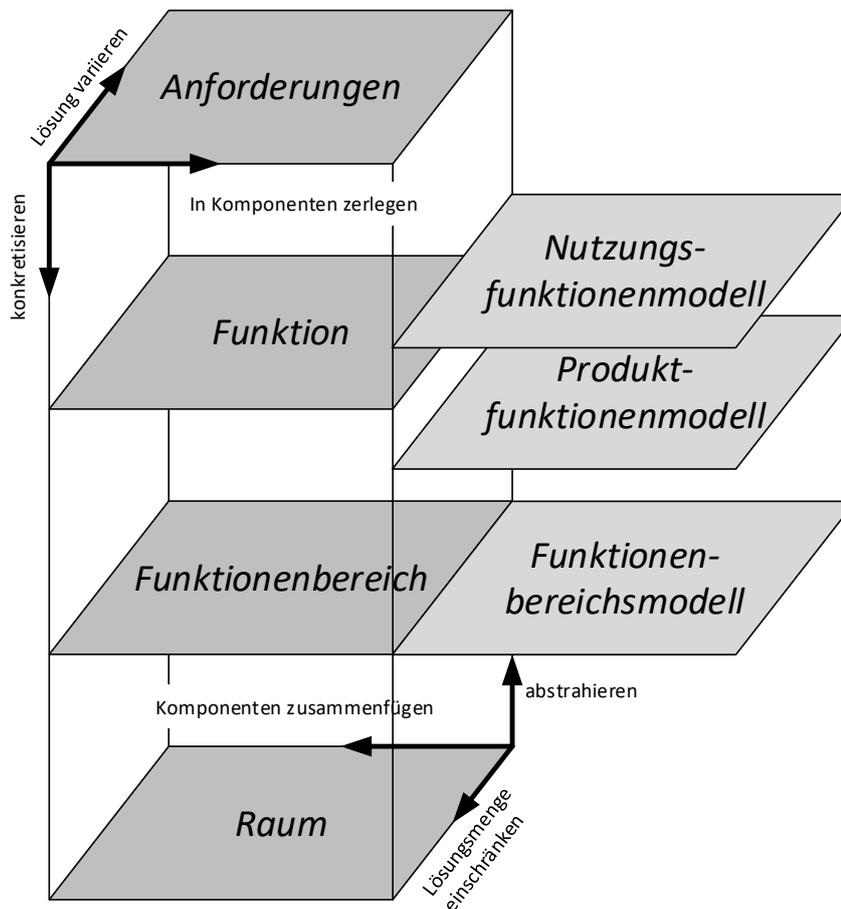
- 1) Erfassen des Analyseobjekts
- 2) Benennen der Funktionen
- 3) Strukturieren der Funktionen

Im ersten Schritt werden aus verschiedenen, oft unstrukturierten und möglicherweise widersprüchlichen Quellen die relevanten Informationen identifiziert, organisiert und interpretiert. Laut Huang ist das Ziel der Organisation und Interpretation der relevanten Informationen, den Wesenskern der funktionalen Aufgabenstellung zu erfassen. (Huang, 2002, S. 105)

Im zweiten Schritt werden die Funktionen ermittelt und benannt. Da Funktionen abstrakte, konzeptuelle Entwurfsobjekte sind, wird deren verbale Bezeichnung eine essentielle Bedeutung zugemessen. Die Funktionenanalyse gibt weiterführende Hinweise zur korrekten Benennung von Funktionen. (VDI2803, 1996, S. 11) Im dritten Schritt werden die Funktionenstrukturen erstellt. Diese können in verschiedenen Formate als Funktionenflussstrukturen, Funktionenbäume oder -Netze modelliert werden.

Wie in den vorhergehenden Kapiteln bereits beschrieben wurde, erfasst die Funktionenmodellierung in der Industriepanung mehrere Modellierungsebenen bzw. mehrere Planungspakete: Nutzungs-, Produktfunktionen und abstrakte Funktionsbereiche. Abbildung 23 zeigt die Einordnung dieser Modellierungsebenen im Modellraum des Konstruierens, der am Institut für Rechneranwendung und Konstruktion (RPK) unter der Leitung von Prof. Grabowski entwickelt wurde. (Langlotz, 2000, S. 87)

*Die Ebenen der Nutzungsfunktionen und Funktionenbereiche werden in dieser Arbeit neu entwickelt, bzw. wurden neu dem Modellraum hinzugefügt, und die Ebene der Produktfunktionen wird auf Grundlage von Vorarbeiten des RPK (vor allem (Langlotz, 2000) und (Huang, 2002)) weiterentwickelt und mit den zwei neuen Modellebenen integriert.*



**Abbildung 23: Einordnung der Funktionenmodellierungsebenen im Modellraum der Konzeptplanung, in Anlehnung an (Langlotz, 2000, p. 87)**

Der Modellraum fokussiert sich auf den Modellierungsebenen der Nutzungs- und Produktfunktionen, und der räumlichen Funktionenbereiche. Er zeigt darüber hinaus die angrenzenden Teilmodelle der Anforderungen und der konkreten Räume. Die Ebene der Anforderungen fasst die relevanten Informationen zusammen, die aus vorgelagerte Planungspakete resultieren. Zur weiteren Entwicklung und Konkretisierung des Entwurfes auf der Modellebene der konkreten Räume werden neben funktionellen auch konstruktiven und gestalterischen Gesichtspunkte aus dem Bereich der Architekturplanung herangezogen, die über den Untersuchungsbereich dieser Arbeit hinausgehen. (Scholz, 1984, S. 27)

Der Modellraum hat drei orthogonale Achsen. Die erste Achse ist die Aggregationsachse. Eine Bewegung auf dieser Achse bedeutet, dass Entwurfselemente in einzelne Teile zerlegt oder zu einem Ganzen zusammengefügt werden. Eines der Vorteile der funktionenorientierten Denkweise ist die Tatsache, dass durch Hierarchiebildung

beliebig komplexe Systeme analysiert bzw. synthetisiert werden können. Aus diesem Grund sollte das systematische Vorgehen zur Funktionenmodellierung die hierarchische Strukturierung besonders berücksichtigen. Hierfür wird eine entsprechende Modellierung und Handhabung von hierarchischen Beziehungen zwischen Entwurfsobjekten erforderlich.

Die zweite Achse ist die Teleologische<sup>1</sup>. Sowohl die Planungsmethodik des RPK (am Beispiel des obigen Modellraums) als auch die Funktionenanalyse (VDI2803, 1996, S. 7) stimmen darin überein, dass die Analyse und Synthese von Funktionen mit einer systematischen Untersuchung von teleologischen Aspekten – Mittel-Zweck-Beziehungen zwischen Entwurfselementen – einhergeht. Dies ist umso wichtiger, da in dieser Arbeit funktionale Aspekte auf mehreren Modellebenen untersucht werden, die entlang der teleologischen Achse positioniert sind. *Vor allem das Zusammenspiel der Nutzungs- und Produktfunktionen erfordert eine tiefgreifende teleologische Untersuchung. Deswegen werden in dieser Arbeit entsprechend neue Konzepte, Strukturen, Darstellungen und Aktivitäten zur Untersuchung teleologischer Aspekte entwickelt.*

Die dritte Achse steht im Zusammenhang mit der Funktionenmodellierung dafür, dass sowohl Varianten des Funktionenmodells als auch der darauf aufbauenden Modelle erzeugt werden können. Albers sieht einen besonderen Bedarf an der Entwicklung einer Vielzahl von Lösungsvarianten (siehe (Albers, Burkardt, & Saak, Gezielte Problemlösung bei der Produktentwicklung mit Hilfe der SPALTEN-Methode, 2002; Albers, Reiß, Bursac, & Breitschuh, 2016)). Diese Varianten können evaluiert und weiterverwendet oder verworfen werden. Daher wird im systematischen Vorgehen der funktionsorientierten Variantenbildung und -Evaluierung entsprechend Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Das hier entwickelte systematische Vorgehen zur multiskalierbaren Funktionenmodellierung in der Industrieplanung basiert auf dem generischen Verfahren zur Funktionenstrukturentwicklung und auf den oben dargestellten Überlegungen zum systematischen Durchschreiten des Modellraums. Dem systematischen Vorgehen liegt eine Abfolge von Analyse- und Synthesetätigkeiten zugrunde. Es beginnt mit einer Analyse – mit dem Erfassen der funktionalen Aufgabenstellung (siehe Abbildung 24). Danach werden Nutzungsfunktionenstrukturen, Produktfunktionenstrukturen und die Struktur der abstrakten Funktionenbereiche entwickelt. Diesen Synthesetätigkeiten folgen jeweils Analysetätigkeiten. Im letzten Analyseschritt werden die

---

<sup>1</sup> Teleologie vom gr. *τέλος τέλος* „Zweck, Ziel, Ende“ und *λόγος λόγος* „Lehre“ ist die Lehre, die beschreibt, dass Handlungen oder Entwicklungsprozesse an Zwecken orientiert sind und durchgängig zweckmäßig ablaufen. (Wikipedia, 2016)

entwickelten Modelle untersucht und die erarbeiteten Varianten evaluiert und ausgewählt.

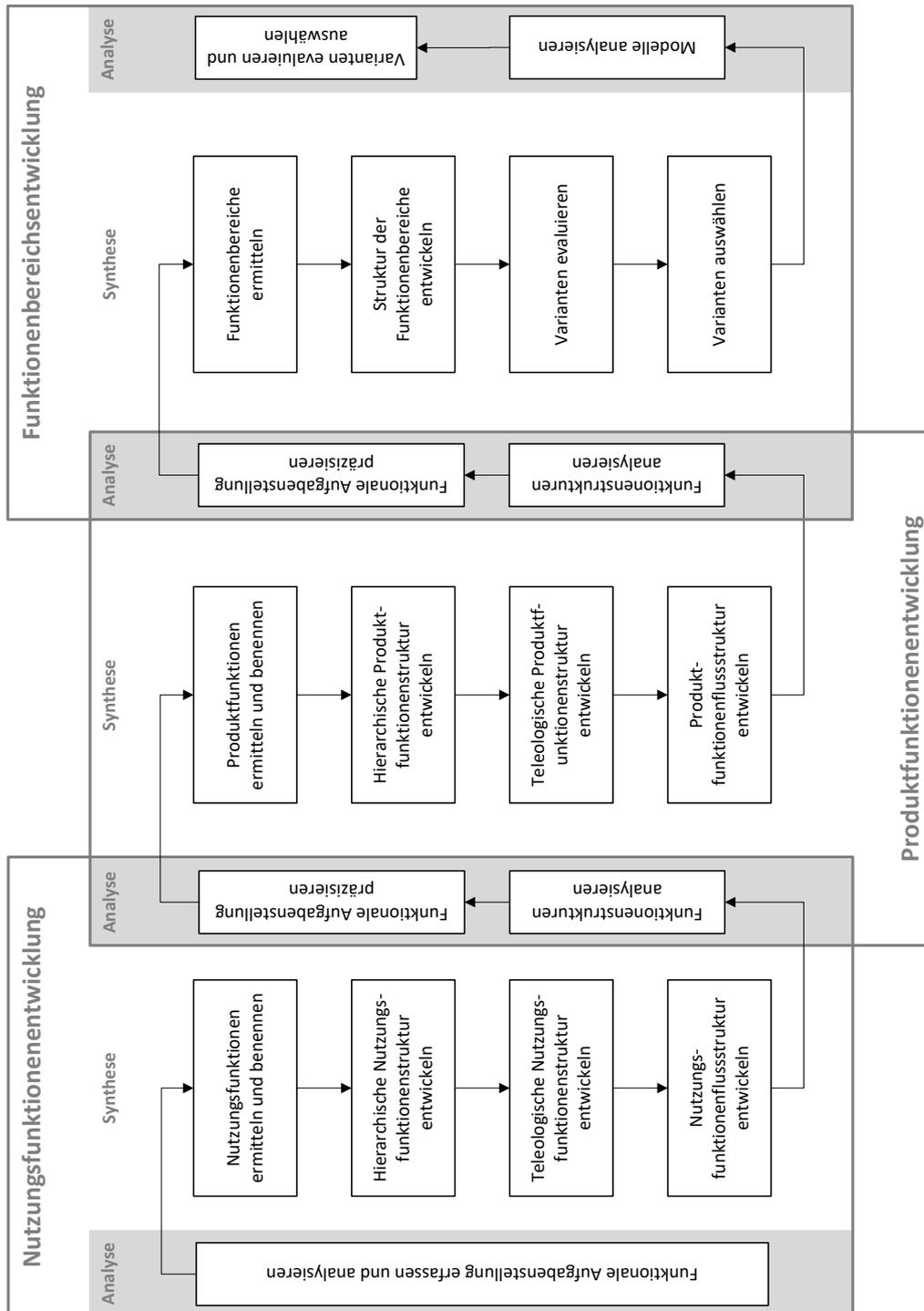


Abbildung 24: Systematisches Vorgehen zur Funktionenmodellierung architektonischer Systeme, in Anlehnung an (von Both, 2006)

Im Rahmen der Entwicklung der Nutzungs- und Produktfunktionen werden zunächst die Funktionen ermittelt und benannt. Danach werden sie in mehreren Strukturen eingegliedert. Diese Strukturen sind nach ihrer Komplexitätsstufe in aufsteigender Folge angeordnet. Als Erstes kommt die hierarchische Funktionenstruktur, die bekanntlich eine Baumstruktur darstellt (siehe Kapitel 4.10.1).

An zweiter Stelle steht die teleologische Funktionenstruktur, die eine Graph-Struktur aufweist (siehe Kapitel 2.2.1). Danach wird die Flusstruktur entwickelt, welche die vielfältigsten und komplexesten Beziehungen abbilden kann (siehe 2.2.3). Nach der Entwicklung dieser Strukturen der Nutzungs- und Produktfunktionen werden sie jeweils einer Analyse unterzogen. Nachfolgend kann die funktionale Aufgabenstellung auf dieser Grundlage weiter präzisiert werden.

Auch wenn diese Schritte in ihrer logischen Reihenfolge sequentiell dargestellt sind, bedeutet dies nicht, dass ein streng sequentielles Vorgehen zwangsmäßig befolgt werden muss. Ein iteratives Vorgehen kann in vielen Fällen sinnvoll sein. Im Folgenden werden einige erläuternde Beispiele geschildert:

- Eine der Aufgaben der Funktionenstrukturentwicklung ist es, sicherzustellen, dass alle relevanten Funktionen identifiziert worden sind. Während der Entwicklung der Funktionenstrukturen, und insbesondere der hierarchischen und teleologischen Strukturen, ist es durchaus möglich und erwünscht, fehlende Funktionen zu identifizieren, die bei der Ermittlung übersehen wurden.
- Benötigte Produktfunktionen können noch während der Funktionenstrukturentwicklung der Nutzungsfunktionen identifiziert werden.
- Bei der Entwicklung neuer Nutzungsfunktionen müssen nicht immer zwangsläufig neue Produktfunktionen entwickelt werden. Oft würde man anstreben, bereits entwickelte und am Markt erhältliche Funktionen(-realisierungen) bzw. Produkte zu verwenden. Zum Beispiel bei der Planung einer neuen Nutzungsfunktion „Essen zubereiten“ kann eine Produktfunktion „Raumlufte erneuern“ zwar im Modell dargestellt und korrekt verknüpft werden. Sie muss aber nicht neu entwickelt werden – es müssen nicht zwangsläufig neuartige Belüftungsgeräte entwickelt werden. Bereits Vorhandene können verwendet werden.
- Manche abstrakten Funktionenbereiche können bereits bei der Nutzungs- und Produktfunktionenstrukturentwicklung ermittelt werden. Ihre Vernetzung kann wiederum rückwirkende Auswirkungen auf die Funktionenstrukturen haben.

Aus den obigen Überlegungen können einige Anforderungen des systematischen Vorgehens zur multiskalierbaren Funktionenmodellierung in der Industriepanung

an Modellierungsnotation und Informationsmodell abgeleitet werden. Die zu untersuchenden Entwurfsobjekte befinden sich auf mehreren Modellebenen, und die Wechselwirkungen zwischen ihnen und zwischen den einzelnen Planungspaketen können sehr komplex werden. Der erforderliche iterative Wechsel zwischen Abstraktions- und Modellierungsebenen auf den verschiedenen Achsen des Modellraums setzt Modellierungstechniken voraus, welche den Modellierer führen und ihn bei der Beherrschung der Modellkomplexität unterstützen. In den folgenden Kapiteln werden schrittweise die erforderlichen Entwurfsobjekte, deren Beziehungen sowie die auf ihnen aufbauenden Strukturen und Sichten erarbeitet.

### 4.3 Entwurfsgegenstand der multiskalierbaren Funktionenmodellierung

Im Rahmen der inhaltlichen und strukturellen Herleitung des systematischen Vorgehens zur Funktionenmodellierung wurde der Modellraum der architektonischen Konzeptplanung (siehe Abbildung 23), welches teilweise um Elemente aus dem Bereich der Mechatronik erweitert wurde, als eine der bestimmenden Komponenten identifiziert. Es ist nun notwendig, die einzelnen Entwurfsobjekte innerhalb des Modellraums zu identifizieren, welche für die Funktionenmodellierung relevant sind.

Die Menge der Entwurfsobjekte legt den Gegenstand des systematischen Vorgehens zur Funktionenmodellierung fest. Sie werden am Anfang des funktionsorientierten Entwurfs konzipiert und oft in einer niedrigeren Detaillierungsstufe modelliert – entsprechend des vorhandenen Wissens in dieser frühen Phase. Im fortschreitenden Entwurf werden sie entsprechend modifiziert und mit neuen Informationen und Verknüpfungen angereichert.

Tabelle 4 zeigt eine Übersicht über die Entwurfsobjekttypen dieser Arbeit und aus Forschungsergebnissen aus den Bereichen der Architektur und Mechatronik. Der Funktionsbegriff ist in diesen beiden Disziplinen unterschiedlich belegt. Der Architekt denkt eher an Nutzungsfunktionen während der Ingenieur in erster Linie an technischen Produktfunktionen interessiert ist. Von Both setzt die unterschiedlichen Funktionsbegriffen in ihrem systemischen Projektmodell in Relation zueinander und differenziert zwischen Nutzungs-, Produkt- und Projektfunktionen. (von Both, 2006, S. 119) Diese differenzierte Betrachtung wird hier übernommen und weiterentwickelt, wobei die Projektfunktionen außerhalb des Untersuchungsbereichs dieser Arbeit sind und deswegen nicht weiter untersucht werden.

Entsprechend dieser Unterschiede erscheint in der Funktionenmodellierung mechatronischer Systeme der Nutzer nicht als Entwurfsobjekt – im Gegensatz zur Architektur, wo der Nutzer eine zentrale Rolle spielt – eine Nutzungsfunktion macht nur dann Sinn, wenn es einen Nutzer gibt, der den Bedarf hat, diese Funktion auszuführen.

Scholz beschreibt in seiner Arbeit sog. „räumliche Einheiten“, die essentiell zur Realisierung der Funktionen sind. (Scholz, 1984, S. 27) Während bei ihm dieser Entwurfsobjekttyp auf der Modellebene nicht strikt von den konkreten Räumen abgegrenzt wird, entwickelt von Both ein wesentlich differenzierteres und exakteres Modell. In diesem werden die abstrakten Funktionsbereiche den konkreten Räumen gegenübergestellt. (von Both, 2006, S. 116, 155) Diese Differenzierung ist sehr wichtig, da die Entwurfsobjekte, welche für die Realisierung der Nutzungsfunktionen zuständig sind, die Grenze des Untersuchungsraums dieser Arbeit festlegen.

*In dieser Arbeit werden Nutzungsfunktionen und Funktionenbereiche neu entwickelt und die Produktfunktionenmodelle aus der Mechatronik werden angepasst und weiterentwickelt, so dass sie im Sinne einer integrierten Planung zusammen mit den weiteren Entwurfsobjektklassen eingesetzt werden können.*

Der Funktionenkontext und seine Komponenten Zeit, Forderungen und Wirkungen werden von Scholz als Entwurfsobjekte identifiziert. *Diese Entwurfsobjekte werden hier weiterentwickelt und mit den Nutzungsfunktionen verknüpft.* Räume, raumbildende Elemente und Gebäudekomponenten befinden sich außerhalb des Untersuchungsbereichs dieser Arbeit und werden in Tabelle 4 der Vollständigkeit halber angegeben.

**Tabelle 4: Herleitung der Entwurfsobjekttypen, aus (Scholz, 1984), (Baumann, 1990), (von Both, 2006), (Langlotz, 2000)**

Scholz	Baumann	Von Both	Langlotz	Diese Arbeit
Funktionen	Funktion	Nutzungsfunktionen		Nutzungsfunktionen
		Produktfunktionen	Funktionen	Produktfunktionen
		Projektfunktionen		Projektfunktionen
Nutzer	Nutzer	Nutzer		Nutzer
Räumliche Einheiten		Funktionsbereiche	Lösungsprinzipien	Abstrakte Funktionsbereiche
Austauschobjekte			Eingabeobjekte	Eingabeobjekte
			Ausgabeobjekte	Ausgabeobjekte
			Realisierungsobjekte	Realisierungsobjekte
			Steuerungsobjekte	Steuerungsobjekte
Kontext				Funktionenkontext
Zeit				Zeit
Forderungen				Forderungen
Wirkungen				Wirkungen
Räume	Raum	Räume	Komponenten	Räume
Raumbildende Elemente	Gestalt	Gebäudekomponenten		Gebäudekomponenten
	Konstruktion			

Nachdem die Gesamtheit der Entwurfsobjekte beschrieben wurde, wird im Folgenden der Fokus auf den Funktionen gelegt. Scholz und Schönfeld unterscheiden bei den Nutzungsfunktionen zwischen Primär- und Sekundärfunktionen. Sekundärfunktionen dienen bei Scholz zur Verknüpfung der Primärfunktionen. Im Gegensatz zu den Primärfunktionen sind Sekundärfunktionen abhängig von den Verknüpfungen der räumlichen Einheiten. Die Existenz der Primärfunktionen ist davon unabhängig. (Scholz, 1984, S. 27)

Sekundärfunktionen sind in der Mechatronik durchaus bekannt – Langlotz beschreibt ein detailliertes Konzept zur Behandlung solcher Funktionen (Langlotz, 2000, S. 125-127). Allerdings ist das mechatronische Konzept flexibler, da es auf dynamischen Realisierungsindizes basiert und nicht auf statischen Funktionentypen. Aus diesem Grund wird das wichtige, inhaltliche Konzept der Sekundärfunktionen aus der Architektur übernommen und *im Sinne einer dynamischen Indizierung der Funktionen weiterentwickelt*. Einer der Vorteile dieser Vorgehensweise ist die Möglichkeit, Nutzungs- und Produktfunktionen mit demselben Mechanismus einheitlich und flexibel zu behandeln. *Auf dieser Grundlage wird in dieser Arbeit eine neue Vorgehensweise zur teleologischen Untersuchung von Nutzungs- und Produktfunktionen entwickelt*. Mehr Details darüber sind im Kapitel 4.9.5 zu finden.

Sowohl Scholz (Scholz, 1984) als auch Pahl/Beitz (Pahl & Beitz, 1993) und Autoren aus dem Bereich der Funktionenanalyse (Akiyama, 1994, S. 64) kennen Konzepte wie Hauptfunktion und Nebenfunktion. Die Funktionenanalyse führt das Konzept der unerwünschten Funktionen ein, welches hier verwendet wird. Langlotz führt darüber hinaus die Stör- und Störverteilungsfunktionen ein. Damit verbunden ist auch das Konzept der Nutzfunktionen (zu unterscheiden von den Nutzungsfunktionen).

In dieser Arbeit werden die entsprechenden Inhalte mit anderen modellierungstechnischen Mitteln dargestellt – Wirkungen und Forderungen, deswegen werden diese Funktionentypen hier nicht weiter untersucht. Während die Unterscheidung zwischen Gesamt- und Teilfunktionen eindeutig der hierarchischen Achse des Modellraums zugeordnet werden kann, liegen die Basis-, Folge- und Parallelfunktionen auf der teleologischen Achse. Diese beiden Achsen sind orthogonal. Das bedeutet z.B., dass sowohl eine Nutzungs- als auch eine Produktfunktion eine Folge- oder eine Parallelfunktion sein kann.

Von Both untersucht in ihrem systemischen Projektmodell drei Arten von Funktionen: Projekt-, Nutzungs-, und Produktfunktionen. Während Projektfunktionen wie bereits erläutert nicht zum Untersuchungsbereich dieser Arbeit gehören, sind Nutzungs- und Produktfunktionen essentiell und werden im Detail untersucht. *Hier wird ein neues Modell der Nutzungsfunktionen entwickelt und mit dem weiterentwi-*

*ckelten Modell der Produktfunktionen verknüpft.* Allgemeine, kanonische und spezielle Funktionen sind Konkretisierungsstufen der Produktfunktionen. Huang beschreibt im Detail die mechatronische Lösungsfindung mit diesen Entwurfsobjekten (Huang, 2002). Auch wenn der Schwerpunkt dieser Arbeit nicht auf dem systematischen Entwurf mechatronischer Systeme liegt, werden diese Funktionenarten der Vollständigkeit halber übernommen.

**Tabelle 5: Herleitung der Funktionentypen, aus (SCHOLZ, 1984) (SCHÖNFELD, 1992) (WEBER, DIE FUNKTION DER FORM, 1994) (RUDE, 1998) (LANGLOTZ, 2000) (HUANG, 2002) (PAHL & BEITZ, 1993) (VDI2803, 1996) (VON BOTH, 2006)**

Scholz / Schönfeld / Weber	Rude, Langlotz und Huang (RPK)	Pahl/Beitz	VDI 2803	Von Both	Diese Arbeit
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Primärfunktion / -Tätigkeit</li> <li>• Sekundärfunktion / -Tätigkeit</li> <li>• Hauptfunktion</li> <li>• Unterfunktion</li> <li>• Elementarfunktion</li> <li>• Ästhetische Funktionen</li> <li>• Kulturfunktionen</li> </ul> <p>(Scholz, 1984), (Schönfeld, 1992), (Weber, Funktionalismus als DDR und Utopie, 2012)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Allgemeine Funktion</li> <li>• Kanonische Funktion</li> <li>• Spezielle Funktion</li> <li>• Nutzfunktion <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Zielfunktion</li> <li>○ Ergänzungsfunktion</li> <li>○ Gegenfunktion</li> <li>○ Folgefunktion</li> <li>○ Kompensationsfunktion</li> </ul> </li> <li>• Störfunktion <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Störfunktion</li> <li>○ Störverteilungsfunktion</li> </ul> </li> <li>• Permanente Nutz- und Störfunktion</li> <li>• Temporäre Nutz- und Störfunktion</li> </ul> <p>(Rude, 1998), (Langlotz, 2000), (Huang, 2002)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hauptfunktion</li> <li>• Nebenfunktion</li> <li>• Grundfunktion</li> <li>• Hilfsfunktion</li> <li>• Sonderfunktion</li> <li>• Anpassfunktion</li> <li>• Auftragspezifische Funktion</li> </ul> <p>(Pahl &amp; Beitz, 1993)</p>	<p>Funktionenarten</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Gebrauchsfunktionen</li> <li>○ Geltungsfunktionen</li> </ul> <p>Funktionenklassen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hauptfunktion</li> <li>• Nebenfunktion</li> <li>• Gesamtfunktion</li> <li>• Teilfunktion</li> <li>• Unerwünschte Funktion</li> </ul> <p>FAST Funktionenklassen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Übergeordnete Funktionen</li> <li>• Basisfunktionen</li> <li>• Folgefunktionen</li> <li>• Parallelfunktionen</li> <li>• Akzeptierte Funktionen</li> </ul> <p>(VDI2803, 1996)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produktfunktion</li> <li>• Nutzungsfunktion</li> <li>• Projektfunktion</li> </ul> <p>(von Both, 2006)</p>	<p>Funktionenarten</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nutzungsfunktion</li> <li>• Produktfunktion <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Allgemeine Funktion</li> <li>○ Kanonische Funktion</li> <li>○ Spezielle Funktion</li> </ul> </li> <li>○ Projektfunktion (wird hier nicht im Detail behandelt)</li> </ul> <p>Funktionenklassen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hauptfunktion</li> <li>• Nebenfunktion</li> <li>• Gesamtfunktion</li> <li>• Teilfunktion</li> <li>• Unerwünschte Funktion</li> </ul> <p>Teleologische Funktionenklassen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Übergeordnete Funktionen</li> <li>• Basisfunktionen</li> <li>• Folgefunktionen</li> <li>• Parallelfunktionen</li> <li>• Akzeptierte Funktionen</li> </ul>

## 4.4 Nutzungsfunktionen

Der Funktionsbegriff ist neben Begriffen wie Form, Gestalt, Kontext, Material und Konstruktion einer der zentralen Begriffe in der Architektur. (Bielefeld & El Khouli, 2011, S. 9) Dementsprechend ist der funktionsorientierte Zugang eine der Säulen der architektonischen Planung. (Engel, 2002), (Bielefeld & El Khouli, 2011, S. 8) Der bekannte Satz von Sullivan – „Form follows function“ – ist so zu verstehen, dass gute Architektur ihrer Funktion entsprechen muss. (Kruft, 2004) Scholz schreibt in diesem Zusammenhang: "Jedes Bauobjekt dient zur Realisierung bestimmter Funktionen." (Scholz, 1984, S. 26)

Während sich die Entwurfsmethodik der Mechatronik vor allem mit den Produktfunktionen befasst, (s. (Rude, 1998), (Langlotz, 2000), (Huang, 2002), (Albers & Wintergerst, The Contact and Channel Approach (C&C<sup>2</sup>-A): relating a system's physical structure to its functionality, 2013)) arbeitet die Entwurfsmethodik der Architektur mit einer breiteren Palette von Funktionenbegriffen. Weber identifiziert neben Nutzungsfunktionen auch ästhetische Funktionen, soziale und kulturelle Funktionen von Bauwerken (Weber, Funktionalismus als DDR und Utopie, 2012, S. 63). Der weit gefasste Funktionsbegriff ermöglicht ihm, sich Funktion nicht mechanistisch und Form nicht oberflächlich vorzustellen. Weber schreibt: (Weber, Funktionalismus als DDR und Utopie, 2012, S. 71)

- Die Funktion hat eine geistige Komponente.
- Die Form funktioniert ästhetisch.

Der funktionsorientierte Zugang zum architektonischen Entwurf ist deswegen keinesfalls mit dem Funktionalismus, der sich als eher negativ belegter Begriff auf eine Überbewertung der Architekturkomponente „Funktion“ bezieht, gleichzusetzen. (Weber, Funktionalismus als DDR und Utopie, 2012, S. 68) Das grundlegende Ziel der Architekturplanung ist vielmehr, einen Entwurf zu gestalten, welcher der Funktion gerecht wird und ihr im eigentlichen Sinne Gestalt gibt. Der Planer sollte mit Hilfe seiner gestalterischen Fähigkeiten und Erfahrungen nach einer Einheit von Form und Funktion streben, welche über die bloße Zweckdienlichkeit des Baus hinausgeht. (Bielefeld & El Khouli, 2011, S. 38)

Die Geschichte der Architekturtheorie überliefert die Synonymität von Funktion, Zweck und Bauaufgabe. (Weber, Funktionalismus als DDR und Utopie, 2012, S. 69) Die Verwendung des Funktionsbegriffs als Zweck oder Nutzen lehnt sich an Vitruv an (Weber, Funktionalismus als DDR und Utopie, 2012) und ist bei modernen Autoren aus dem Bereich der architektonischen Planung in diesem Zusammenhang zu finden.

### 4.4.1 Konzept der Nutzungsfunktionen

Von Both differenziert in ihrem Systemischen Projektmodell zur Planung komplexer Unikate zwischen Produkt-, Nutzungs- und Projektfunktionen. (von Both, 2006, S. 119) *Im weiteren Verlauf dieser Arbeit wird die Funktion als Zweck oder Nutzen als Nutzungsfunktion bezeichnet.* Nutzungsfunktionen beschreiben *Tätigkeiten bzw. Funktionen, welche der Nutzer mit Hilfe des Objektes bzw. im Gebäude ausführen möchte.* Bezugssystem ist somit das

Umgebungssystem der Nutzer“. (von Both, 2006, S. 119) Nutzungsfunktionen resultieren aus den Bedürfnissen des Menschen. Sie sind „*Handlungen oder Tätigkeiten, die mit Hilfe der Bauobjekte durch Menschen, Tiere, Pflanzen oder Dinge wahrgenommen werden.*“ (Scholz, 1984, S. 26)

Der Zusammenhang zwischen Nutzungsfunktion und architektonischer Entwurf ist vielschichtig. Scholz fasst es folgenderweise zusammen: "Die Beziehung Funktion/Bauobjekt gründet sich darauf, dass die Funktionen für ihre Durchführung an ihre Umwelt bestimmte Forderungen richten, die nicht immer durch die natürlichen Bedingungen realisiert werden. Aus dem Zwang der Befriedigung der Bedürfnisse ergibt sich die Aufgabe, die Umweltbedingungen mittels der Bauobjekte so umzugestalten, dass sie den Forderungen der Funktionen genügen.“ (Scholz, 1984, S. 26) Demzufolge sind Nutzungsfunktionen mit einer Reihe von weiteren Entwurfsobjekten verbunden:

- Nutzer – wer führt die Nutzungsfunktion aus?
- Zeit – wann wird die Nutzungsfunktion ausgeführt?
- Funktionenflussobjekte – welche sind die Ein- und Ausgabegrößen der Nutzungsfunktion?
- Realisierungsobjekte – welche Entwurfsobjekte verkörpern die Nutzungsfunktion?
- Forderungen – welche Forderungen stellt die Nutzungsfunktion an ihrer Umwelt, damit sie ausgeführt werden kann?
- Wirkungen – welche Wirkungen hat die Nutzungsfunktion auf ihre Umwelt, die andere Nutzungsfunktionen beeinflussen können?
- Restriktionen – welche Bedingungen sind für ein reibungsloses Zusammenspiel zwischen den Nutzungsfunktionen zu beachten?
- Produktfunktionen – welche Produktfunktionen sind notwendig, damit die Nutzungsfunktion realisiert werden kann?

*In diesem Kapitel wird das Konzept für die Entwurfsobjektklasse der Nutzungsfunktionen entwickelt. In den Kapiteln 4.5 bis 4.9 werden Konzepte für die weiteren obengenannten Entwurfsobjektklassen und deren Beziehungen zu den Nutzungsfunktionen entwickelt.*

Eines der Vorteile des funktionsorientierten Zugangs zum architektonischen Entwurf ist, dass er eine methodische Entwicklung von Lösungsvarianten unterstützt. Die Entwicklung von Lösungsvarianten ist eine wichtige Aktivität im Produktentstehungsprozess (Albers, Reiß, Bursac, & Breitschuh, 2016). Durch die Modellierung der entsprechenden Entwurfsobjekte werden Probleme, Ideen und Lösungen explizit dargestellt. Das unterstützt einen iterativen, wissensbasierten Wechsel zwischen Analyse- und Syntheseschritte.

Dabei kann dieselbe Nutzungsfunktion auf verschiedene Arten, durch unterschiedliche Realisierungsobjekte und Produktfunktionen realisiert werden. Ebenso können weitere Eigenschaften und Verknüpfungen der Nutzungsfunktion variiert und somit Varianten der Nutzungsfunktion entwickelt werden. Diese Varianten können bewertet und im weiteren Verlauf der Konzeptplanung entsprechend ihrer Bewertung verwendet werden.

Das Konzept der Funktion ist hierarchisch – eine Funktion kann aus Teilfunktionen bestehen und dabei selbst ein Teil von einer übergeordneten Funktion sein. (Pahl & Beitz, 1993) Das trifft auf Nutzungsfunktionen genauso wie auf Produktfunktionen zu. Der Aufbau von Funktionenhierarchien bzw. von Funktionenbäumen ist ein wesentlicher Bestandteil der Funktionsstrukturentwicklung, der im Kapitel 4.10.1 beschrieben wird.

#### 4.4.2 Eigenschaften der Nutzungsfunktionen

Ausgehend von den Ausführungen im vorherigen Kapitel können die Eigenschaften der Nutzungsfunktionen beschrieben werden. Tabelle 10 auf Seite 88 zeigt eine Übersicht der Eigenschaften.

Die erste und wichtigste Eigenschaft einer Nutzungsfunktion ist deren formale Bezeichnung – das Funktionsverb. Es bestimmt, *was* die Funktion bewirkt. Die Funktionsanalyse misst einer systematisch durchgeführten Funktionenbenennung einen sehr hohen Stellenwert bei. (Akiyama, 1994, S. 55) Funktionen mit einem eindeutigen und treffenden Verb zu bezeichnen ist eine Voraussetzung für die weiteren Schritte der Funktionenmodellierung.

Zwischen den Funktionsverben der Nutzungs- und Produktfunktionen gibt es einen wichtigen Unterschied. Bei den Produktfunktionen, lassen sich allgemeingültige Taxonomien von standardisierten Funktionsverben auf verschiedenen Abstraktionsstufen, wie z.B. allgemeine, kanonische und spezielle Funktionen, festlegen. Diese Taxonomien haben das Ziel, mit einer überschaubaren Anzahl von Funktionsverben die Gesamtheit aller technischen Produkte zu beschreiben:

- Allgemeine Funktionsverben für mechanische Produkte: 5 (Huang, 2002, S. 58)
- Kanonische Funktionsverben für mechatronische Produkte: 29 (Huang, 2002, S. 94)
- Spezielle Funktionsverben für mechanische Produkte: 85 (Langlotz, 2000, S. 278)
- Funktionsverben für technische Produkte: 54 (Hirtz, Stone, McAdams, Szykman, & Wood, 2002, S. 72-73)

Im Gegensatz dazu erscheint es wenig sinnvoll, eine allgemeingültige Taxonomie der Nutzungsfunktionsverben auszuarbeiten. Diese müsste alle Nutzungsfällen von allen denkbaren Gebäudearten akkurat darstellen können. Durch den Unikatcharakter von Gebäude und durch die von Fall zu Fall unterschiedlichen Intentionen der Nutzer für die zu entwerfenden Gebäude, wird eine solche Aufgabe sehr erschwert. Eine solche Taxonomie müsste mit jedem abweichenden Fall zusätzlich erweitert werden. Die große Anzahl von Funktionsverben wäre unüberschaubar und unhandlich.

Nichtsdestotrotz würde eine eindeutig definierte Taxonomie der Nutzungsfunktionsverben ähnliche Vorteile wie bei den Produktfunktionen aufweisen:

- Möglichkeit der eindeutigen Interpretation durch Beteiligte am Entwurfsprozess: Jedes Element der Taxonomie hat eine vordefinierte Bedeutung, die in einem Katalog der Funktionsverben eindeutig definiert ist.

- Möglichkeit der Rechnerverarbeitung: Die festgelegte Bedeutung (Semantik) der Funktionsverben würde es ermöglichen, die modellierten Nutzungsfunktionen in Algorithmen – z.B. in Regelbasen – einzubeziehen und somit Entwurfsaufgaben zu automatisieren.

*Zur Lösung dieses Dilemmas werden hier produkt-, projekt- oder organisationsspezifische Taxonomien von Nutzungsfunktionsverben eingeführt.* Durch den Bezug auf ein konkretes Projekt oder auf dem Arbeitsgebiet einer konkreten Organisation kann die Anzahl der Nutzungsfunktionsverben auf ein überschaubares Maß reduziert werden. Gleichzeitig würden aber die Vorteile der eindeutigen Interpretation und der Rechnerverarbeitbarkeit erhalten bleiben.

Neben der eindeutigen formalen Bezeichnung – dem Funktionenverb, besitzen die Nutzungsfunktionen auch eine freie Bezeichnung. (Langlotz, 2000, S. 134) Diese dient dazu, die Funktion für den Planer / für das Planungsteam besser verständlich zu machen. Es wird empfohlen, diese nach den Richtlinien aus (VDI2803, 1996, S. 2) zu formen: Aus einem Substantiv und einem aktivistischen Verb.

Eine Reihe von weiteren Entwurfsobjektarten – Funktionenobjekte, Zeit, Wirkungen, Forderungen und Restriktionen – folgt ebenfalls diesem Modell. Diese besitzen jeweils eine formale und eine freie Bezeichnung.

Die Nutzungsfunktion hat Verknüpfungen zu weiteren Entwurfsobjekten:

- Nutzer
- Zeitobjekte
- Ein-/Ausgabeobjekten
- Realisierungsobjekten
- Forderungen
- Restriktionen

Diese Entwurfsobjekte sowie deren Verknüpfungen zu den Nutzungsfunktionen werden in den Kapiteln 4.5 bis 4.8 entwickelt und detailliert behandelt.

Die Gruppierungsebene einer Nutzungsfunktion gibt an, auf welcher Ebene sich die Nutzungsfunktion in der Funktionenhierarchie befindet. Weitere Informationen zu der Gruppierung von Nutzungsfunktionen sind im Kapitel 4.10.3.4 zu finden. Die Variantenummer der Nutzungsfunktion und die Bewertung der Variante dienen zur Unterstützung der methodischen Entwicklung von Lösungsvarianten. Eine Übersicht der Eigenschaften der Nutzungsfunktionen ist in Kapitel 4.12.5.1 zu finden.

#### 4.4.3 Graphische Notation

Den Anforderungen entsprechend müssen Nutzungsfunktionen sowohl auf der Ebene des Informationsmodells als auch auf der Ebene der graphischen Darstellung mit dem Teilmodell der Produktfunktionen kohärent bzw. modelltechnisch kompatibel sein (s. Kapitel

3.2). Daher wird in den folgenden Kapiteln besonders auf eine Kompatibilität der graphischen Darstellungen geachtet.

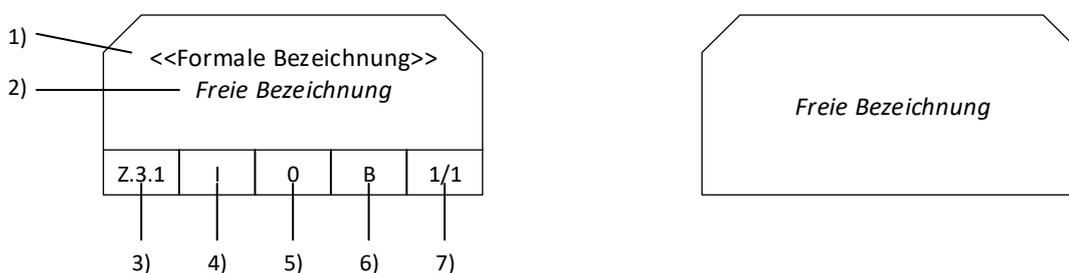
Die Kohärenz der Teilmodelle der Nutzungs- und Produktfunktionen macht die Verwendung von Entwurfsobjekten beider Klassen in derselben Funktionenstruktur bzw. im selben Funktionenstrukturdiagramm möglich. Der Übersichtlichkeit halber sollte es möglich sein, beide Funktionentypen auf einen Blick intuitiv unterscheiden zu können. Aus diesem Grund werden Nutzungsfunktionen abweichend von den Produktfunktionen nicht als gewöhnliche Rechtecke, sondern als Rechtecke mit abgeschnittenen oberen Ecken dargestellt (s. Abbildung 25).

Nutzungsfunktionen werden in einer großen Bandbreite von modellierungstechnischen Situationen eingesetzt. Durch die Einführung von Nutzungsfunktionen neben der Produktfunktionen, wobei beide Teil derselben Funktionenstruktur sein können, tritt der Bedarf an einer übersichtlichen, benutzerfreundlichen Darstellung (Langlotz, 2000, S. 134) noch mehr in den Vordergrund.

*Aus diesen Gründen wird in dieser Arbeit ein Konzept für eine mehrstufige, multiskalierbare Darstellung von Funktionenstrukturen, welches unter anderem auf eine mehrstufige Darstellung von Nutzungsfunktionen basiert, entwickelt. Eines der wichtigsten Konzepte ist die hier entwickelte Übersichtsdarstellung der Nutzungsfunktionenstruktur, die sich besonders für die frühen Phasen der nutzungstechnologischen Funktionenentwicklung eignet (siehe Kapitel 4.10.3).*

#### 4.4.3.1 Übersichtsdarstellung der Nutzungsfunktionen

Der erste Baustein des mehrstufigen Konzepts sind die verschiedenen Darstellungsformen der Nutzungsfunktionen. Die einfachste Darstellungsform ist die Übersichtsdarstellung. Hierbei wird die Nutzungsfunktion als ein Rechteck mit oben abgeschnittenen Ecken dargestellt. Als einzige Eigenschaft wird die freie Bezeichnung gezeigt (s. Abbildung 25 rechts).



**Abbildung 25: Notation einer generischen Nutzungsfunktion in der Detail- und Übersichtsdarstellung, in Anlehnung an (LANGLOTZ, 2000)**

#### 4.4.3.2 Detaildarstellung der Nutzungsfunktionen

In der Detaildarstellung wird eine Reihe von Eigenschaften gezeigt, welche im Folgenden aufgelistet sind (s. Abbildung 25 links):

1. Formale Bezeichnung

2. Freie Bezeichnung
3. Position in der Hierarchie
4. Realisierungsindex
5. Gruppierungsebene
6. Lebensphase (in diesem Beispiel: Benutzung)
7. Variantenummer

#### 4.4.3.3 Benutzerdefinierte Darstellung

In der Benutzerdefinierten Darstellung kann der Benutzer festlegen, welche Eigenschaften dargestellt werden und welche ausgeblendet werden.

## 4.5 Nutzer

Im Systems Engineering ist eine Betrachtung des zu entwerfenden Systems aus Sicht des Umfelds – Menschen und technische Systeme, welche mit dem System interagieren – unabdingbar. (Haberfellner, Fricke, de Weck, & Vössner, 2012, S. 42) Von Both identifiziert das Modell der Nutzer als das Umgebungssystem der Nutzungsfunktionen. Die Nutzer stellen somit das Bezugssystem des Nutzungsfunktionsmodells dar. (von Both, 2006, S. 119)

Nutzungsfunktionen sind eng mit den Nutzern verbunden – beschäftigt man sich mit Nutzungsfunktionen, so beschäftigt man sich auch mit den Menschen, die diese Nutzungsfunktionen nachfragen. (Bielefeld & El Khouli, 2011, S. 39) Insbesondere bei der Entwicklung neuartiger Nutzungsfunktionen von komplexen Bauten, wie z.B. die eines Krankenhauses oder eines Feuerwehrhauses, ist auf eine systematische Abbildung und Einbindung der Nutzersicht in der Planung zu achten. (Bielefeld & El Khouli, 2011, S. 39)

Nutzer führen eine Nutzungsfunktion stets zu einer bestimmten Zeit an einem bestimmten Ort aus. Der zeitliche und räumliche Kontext einer Nutzungsfunktion ist deswegen nur im Zusammenhang mit einem Nutzer vollständig. An einer Nutzungsfunktionsstruktur, in welcher die Nutzer modelliert sind, kann abgelesen werden, welcher Nutzer welche Funktion zu welcher Zeit in welchem räumlichen Funktionsbereich ausführt. Nutzer haben eine formale Bezeichnung, deren Wertebereich in einer Taxonomie festgelegt werden kann, z.B.: (Schulz & Wölki, ME-Projektbericht Autobahn-Raststätte "2000", 2007)

- Erwachsene
  - Männer
  - Frauen
- Minderjährige
  - Kinder
  - Babies
- Behinderte Personen
  - Rollstuhlbenutzer
  - Sehbehinderte Personen

Neben der formalen Bezeichnung können Nutzer eine freie Bezeichnung besitzen. Das Konzept der Nutzer bzw. der Akteure eines Systems ist bekannt nicht nur in der architektonischen Planung, sondern auch im Systems Engineering und in der Softwaretechnik. Analyse und Entwurf eines Softwaresystems beginnen oft mit der Modellierung der Akteure (Nutzer) und deren Anwendungsfälle (Nutzungsfunktionen). (Fowler & Scott, 2000, S. 36) *Ähnlich der UML* (s. (Fowler & Scott, 2000, S. 37)) werden hier Nutzer mit einem Männchen dargestellt. Unter diesem werden die formale Bezeichnung des Nutzers und ggf. die freie Bezeichnung gezeigt (s. Abbildung 26).

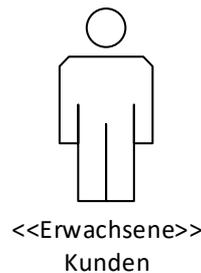


Abbildung 26: Graphische Notation eines Nutzers, in Anlehnung an UML (Fowler & Scott, 2000, S. 37)

## 4.6 Funktionenobjekte

Funktionenobjekte stellen die Funktionenflussgrößen dar, welche zwischen den Funktionen ausgetauscht werden. In Analogie zur natürlichen Sprache können Funktionen als Verben und Funktionenobjekte als Substantive der Funktionenmodellierungssprache verstanden werden. Funktionenobjekte können sowohl von Nutz- als auch von Produktfunktionen verarbeitet werden. Aus diesem Grund wird auf die konzeptuelle Kohärenz dieser Entwurfsobjekte besonderes Augenmerk gerichtet.

Die Funktionenmodellierung kennt drei grundlegende, abstrakte Kategorien von Funktionenflussgrößen bzw. von Funktionenobjekten: Materie, Energie und Information. (Scholz, 1984), (Roth, Konstruieren mit Konstruktionskatalogen: Band 1: Konstruktionslehre, 2000), (Langlotz, 2000), (Huang, 2002). Es kann für bestimmte Anwendungsschwerpunkte sinnvoll sein, weitere Basisgrößen einzuführen, wie z.B. Kosten (s. (von Both, 2006)). Diese Arbeit beschränkt sich auf den drei abstrakten Kategorien Materie, Energie und Information, welche zur Untersuchung des Zusammenspiels von Nutzungs- und Produktfunktionen eine zweckdienliche Basis darstellen.

Bei den Funktionen kann man einen Begriff – ein Verb – festlegen, welches die Funktion beschreibt. Im Unterschied dazu ist es in der Realität aber nicht immer möglich, nur eine der Kategorien der Funktionenobjekte als die für die Funktion Wesentliche zu bestimmen. (Langlotz, 2000, S. 89) Die Ursache dafür ist, dass die meisten realen Objekte mehrere dieser Eigenschaften gleichzeitig besitzen.

Ein Gebäude hat z.B. gleichzeitig materielle, energetische und informative Eigenschaften. Es hat bestimmte Abmessungen, Volumen und Masse, aber auch Temperatur und Däm-

meigenschaften. Es besitzt auch Informationseigenschaften, die sich zum Teil aus den Materie- und Energieeigenschaften ableiten lassen. So kann ein Besucher z.B. der besonderen, zentralen Lage in der gefächerten Stadt, der großzügigen, dreiflügeligen Gebäudestruktur, dem wesentlich größeren Maßstab im Vergleich zu den Gebäuden am Zirkel, sowie der besonders großen Baumasse des Gebäudes entnehmen, dass es sich um kein gewöhnliches Verwaltungs- oder Wohngebäude handelt, sondern um das Karlsruher Schloss.

Funktionenobjekte können in einer Funktionenstruktur kontextabhängig verschiedene Charaktere aufweisen, bzw. verschiedene Rollen spielen: Ein-/Ausgabe-, Realisierungs- und Steuerobjekte. (Langlotz, 2000, S. 139) Der Charakter eines Funktionenobjektes hängt von der Art seiner Beziehung zur entsprechenden Funktion ab (s. Kapitel 4.8).

Ein Funktionenobjekt, welches der abstrakten Kategorie „Information“ zugeordnet ist, kann als Verknüpfung zu einem anderen Entwurfsobjekt bzw. zu einem anderen Teilmodell weiter spezialisiert werden. In diesem Sinne können Funktionenobjekte Verknüpfungen des Funktionsmodells zu weiteren Teilmodellen darstellen.

Ein Beispiel für die Verknüpfung der Nutzungsfunktionsstruktur mit anderen Teilmodellen mittels Funktionenobjekte ist das Teilmodell der räumlichen Funktionenbereiche (siehe Kapitel 4.11). Ein Funktionenbereich, welcher eine Nutzungsfunktion realisiert, kann in der Nutzungsfunktionsstruktur durch ein Funktionenobjekt dargestellt werden, welches mit der entsprechenden Nutzungsfunktion verknüpft ist (siehe Kapitel 4.9.5).

#### 4.6.1 Formale Bezeichnungen von Funktionenobjekten

In Ähnlichkeit zu den Funktionen haben Funktionenobjekte eine freie und eine formale Bezeichnung. Letztere wird einer oder mehreren vordefinierten Taxonomien entnommen. Die durch die Taxonomie festgelegte Semantik der Funktionenflussgrößen eröffnet Möglichkeiten für eine rechnergestützte Verarbeitung der Funktionenstruktur – z.B. in Machine Learning Algorithmen, Regelbasen, OWL-Ontologien usw. Im Unterschied zu den Funktionen, können aber Funktionenobjekte mehrere formale Bezeichnungen gleichzeitig besitzen.

Taxonomien von Funktionenflussgrößen können auf unterschiedliche Abstraktionsebenen definiert, und nach unterschiedlichen Kriterien organisiert sein. So können Funktionenflüsse auf der abstrakten Ebene der allgemeinen Funktionsgrößen (drei), auf der konkreteren Ebene der kanonischen Funktionsgrößen (dreizehn) oder auf anderen Abstraktionsebenen spezifiziert werden. (Huang, 2002, S. 39, 45, 55) Taxonomien können anhand einer formalen Materie-, Energie- und Informationsbezeichnung, nach den Phasen der Wertschöpfungskette, nach Stoff- oder Energieart usw. klassifiziert werden.

#### 4.6.2 Graphische Notation

Funktionenobjekte werden als abgerundete Rechtecke graphisch dargestellt. Sammlungen von Objekten werden als schattierte, abgerundete Rechtecke angezeigt (s. Abbildung

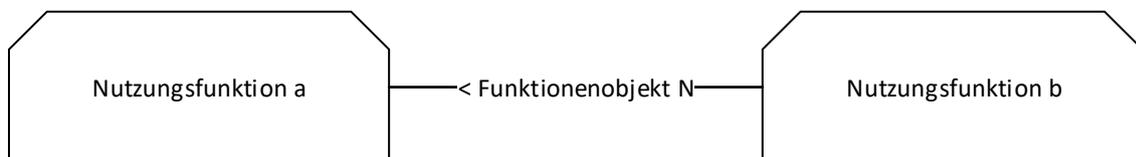
28). (Langlotz, 2000, S. 137) Hier werden aber nicht die Materie-, Energie- und Informationskategorien angezeigt, sondern deren konkreten Ausprägungen – die jeweiligen taxonomischen, formalen Bezeichnungen. Da mehrere formale Bezeichnungen zulässig sind, wird die für die Funktion Maßgebliche durch Unterstreichen gekennzeichnet. (s. Abbildung 28, linke Seite).

Darüber hinaus können Funktionenobjekte ähnlich wie Funktionen unterschiedliche Darstellungsformen annehmen. Auf Grundlage dieser wird im Kapitel 0 ein Konzept für Funktionenflussstrukturansichten erarbeitet. Im Folgenden werden die Darstellungsformen beschrieben.

#### 4.6.2.1 Übersichtsdarstellung

Diese Darstellung soll zu einer kompakteren Übersicht über komplexere Funktionenstrukturen verhelfen und ein intuitiveres Arbeiten mit der Funktionenstruktur unterstützen. Deswegen wird hier nur die freie Bezeichnung des Funktionenobjektes angezeigt (s. Abbildung 28, rechte Seite).

In dieser Darstellung kann zusätzlich das abgerundete Rechteck entfallen. Dann wird sie als Übersichtsdarstellung in minimaler Form bezeichnet. Dabei wird die Funktionenobjektbezeichnung über dem Strich der entsprechenden Funktionenbeziehung dargestellt. Die Flussrichtung kann durch eckige Klammern „<“ und/oder „>“ angegeben werden (s. Abbildung 27). Es ist möglich, dass ein Funktionenfluss in beide Richtungen geht. Eine fehlende Angabe der Richtung bedeutet nicht, dass der Funktionenfluss in beide Richtungen geht, sondern, dass die Richtung (noch) nicht bekannt ist.

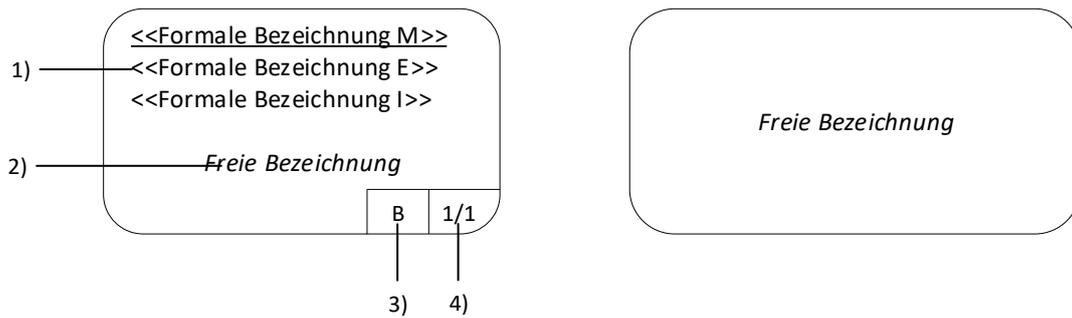


**Abbildung 27: Übersichtsdarstellung des Funktionenobjektes N in der minimalen Form.**

Abbildung 27 ist wie folgt zu interpretieren: Das „Funktionenobjekt N“ – das ist dessen freie Bezeichnung – ist ein Austauschobjekt zwischen zwei Nutzungsfunktionen: „Nutzungsfunktion a“ und „Nutzungsfunktion b“. Die Funktionenflussrichtung ist von „Nutzungsfunktion b“ zu „Nutzungsfunktion a“.

#### 4.6.2.2 Detaildarstellung

Diese Darstellung ermöglicht die Anzeige und Bearbeitung aller Details der Funktionenobjekte, erfordert dafür aber mehr Platz und Aufwand. Alle Merkmale der Funktionenobjekte, welche in Abbildung 28 angegeben sind, werden angezeigt. Die folgende Abbildung zeigt die einzelnen Elemente:



**Abbildung 28: Darstellung eines Funktionenobjektes: Detail- und Übersichtsdarstellung, in Anlehnung an (Langlotz, 2000, p. 138)**

1. Formale Bezeichnungen des Funktionenobjektes – das können eine oder mehrere Bezeichnungen sein. Nicht alle drei abstrakten Kategorien von Funktionenflüssen müssen vorhanden sein.
2. Freie Bezeichnung
3. Lebenszyklusphase
4. Variantenummer

#### 4.6.2.3 Benutzerdefinierte Darstellung

Der Benutzer kann in einem Kompromiss zwischen der Übersichts- und Detaildarstellung festlegen, welche Merkmale sichtbar sein sollen.

## 4.7 Funktionenkontextobjekte

Funktionenkontextobjekte sind Informationsobjekte, welche die Semantik einer Nutzungsfunktion anreichern. Diese Objekte dienen einerseits zur Notation von funktionalen Zusammenhängen und Abhängigkeiten in einer Nutzungsfunktionsstruktur, und andererseits zur Konsistenzprüfung der Nutzungsfunktionsstruktur anhand der durch sie dargestellten, angereicherten Semantik. Der Funktionenkontext wird durch die Zeit zu welcher die Funktion ausgeführt wird, durch die Wirkungen der Funktion auf ihrer Umwelt, und durch die Forderungen an ihre Umwelt bestimmt (Scholz, 1984, S. 55).

Die graphische Notation der Funktionenkontextobjekte sieht vor, dass sie als ein Rechteck mit abgerundeten, diagonalliegenden Ecken dargestellt werden (s. Abbildung 29). Alle Funktionenkontextobjekte besitzen eine formelle und eine freie Bezeichnung und können verschiedene weitere Eigenschaften aufweisen.

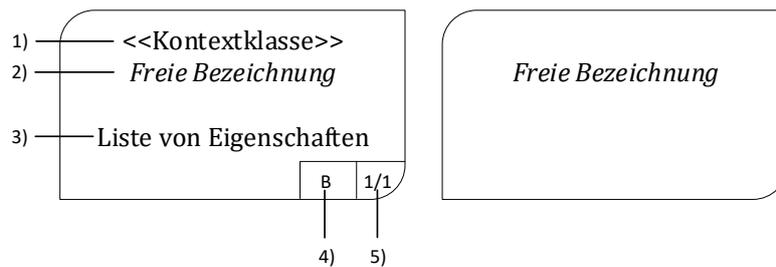


Abbildung 29: Graphische Notation eines generischen Funktionenkontextobjekts

In der Übersichtsdarstellung erscheint im Rechteck nur die freie Bezeichnung (s. Abbildung 29 rechts). Die Detaildarstellung zeigt dagegen alle Eigenschaften eines generischen Funktionenkontextobjektes. Diese Eigenschaften sind:

1. Formale Bezeichnung
2. Freie Bezeichnung
3. Liste von mehreren Eigenschaften, die in Abhängigkeit von der Klasse des Kontextobjektes variieren kann.
4. Lebenszyklusphase
5. Variantenummer

In der Benutzerdefinierten Darstellung kann der Benutzer festlegen, welche Eigenschaften dargestellt und welche ausgeblendet werden sollen. In den folgenden Kapiteln werden die Funktionenkontextklassen detailliert beschrieben.

#### 4.7.1 Zeitkontext

Der Funktionenkontext „Zeit“ einer Nutzungsfunktion legt fest, wann sie ausgeführt wird. Die Ausführung der Funktion kann mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit zu einer bestimmten Zeit eintreffen. Im Folgenden wird der Funktionenkontext „Zeit“ als „Zeitkontext“ bezeichnet. Die Berücksichtigung des Zeitkontexts in der Planung ermöglicht es, sich gegenseitig störende oder ausschließende Funktionen im selben Raum oder in benachbarten Räumen durchführen zu lassen. (Scholz, 1984, S. 32)

Wird er in der Planung außer Acht gelassen, muss der Planer sämtliche möglichen funktionellen Überlagerungen und Beeinflussungen alleine auf Grundlage seines Erfahrungsschatzes entscheiden. Inwieweit er alle möglichen Konsequenzen überblicken kann, ist fraglich. (Scholz, 1984, S. 45)

Eine Nutzungsfunktion wird im Unterschied zu einer Produktfunktion immer im Zusammenhang mit einem Nutzer und in einem bestimmten Zeitkontext ausgeführt. Darüber hinaus wird die Nutzungsfunktion zu einer bestimmten Zeit an einem bestimmten Ort ausgeführt. (Scholz, 1984, S. 66) Letzterer wird in dieser Arbeit als abstrakter Funktionenbereich bezeichnet. Deswegen lässt sich feststellen: Der Zeitkontext wird einem Tripel aus Nutzer, Nutzungsfunktion und abstrakter Funktionenbereich zugewiesen (siehe Kapitel 4.5, 4.4 und 4.11)

Der Vollständigkeit halber sei hier noch angemerkt, dass der Begriff „Zeit“ im Zusammenhang mit den Nutzungsfunktionen neben der oben beschriebenen Bedeutung noch zwei weitere Bedeutungen haben kann: (Scholz, 1984, S. 122-123)

- Die Nutzungsfunktionen unterliegen wie alle anderen Entwurfsobjekten einem Entwicklungsprozess. Das bedeutet, dass sie anfangs einen geringeren Informationsgehalt bzw. Detaillierungsgrad haben, der mit dem Fortschreiten des Entwurfs angereichert und verfeinert wird. Diesem Aspekt wird durch das Attribut Lebenszyklusphase der Nutzungsfunktionen Rechnung getragen. Das in Kapitel 4.2 erarbeitete systematische Vorgehen geht von einer iterativen, schrittweisen Entwicklung der Nutzungsfunktionen aus.
- Entwicklung der Funktion durch die Veränderung der sie realisierenden Technologien, welche z.B. mit der Einführung neuer Maschinen und/oder Verfahren einhergeht. Dieser Aspekt wird in dieser Arbeit indirekt über die Kopplung von Nutzungsfunktionen mit Produktfunktionen angegangen.

#### 4.7.1.1 Taxonomie der zeitlichen Verlaufsformen

In der architektonischen Entwurfsmethodik (Scholz, 1984, S. 55) wird der zeitliche Verlauf einer Funktion häufig durch seine Periode, Intervall und Wahrscheinlichkeit bestimmt. (Schönfeld, 1992, S. 26) Scholz schreibt: "Der Zeitaspekt wird durch eine Periode dargestellt, die sich aus unterschiedlichen Intervallen des Wirkens der Funktion zusammensetzt, wobei ein Intervall durch seine Dauer und seine Wahrscheinlichkeit charakterisiert wird. Es wird angenommen, dass alle Wirkungen und Forderungen einer bestimmten Funktion ein gleiches zeitliches Verhalten aufweisen." (Scholz, 1984, S. 55)

Mit anderen Worten bezieht sich der Zeitkontext nur auf die Nutzungsfunktion und wird auf die weiteren damit verknüpften Kontextobjekte konsequent übertragen. Der von Scholz beschriebene zeitliche Verlauf, der durch Periode, Dauer und Intervall beschrieben wird, lässt sich durch eine periodische Rechteckform darstellen. Es sind aber durchaus weitere Formen des zeitlichen Verlaufs möglich, wie sie in der Funktionsmodellierung in der Mechatronik bekannt sind: (Langlotz, 2000, S. 280)

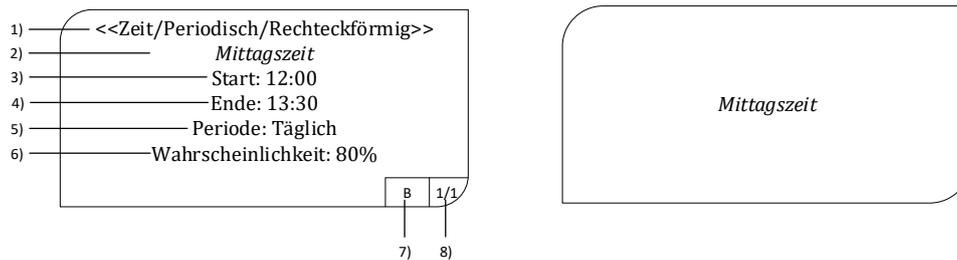
1. Fortlaufend
2. Periodisch
  - 2.1. Sinusförmig
  - 2.2. Sägezahnförmig
  - 2.3. Rechteckförmig
  - 2.4. Dreieckförmig
3. Schwingend
4. Unterbrochen

Diese Taxonomie der zeitlichen Verlaufsformen ist nicht erschöpfend, und kann durch weitere Formen erweitert werden. Um die Flexibilität des Modells der Nutzungsfunktionen zu erhöhen, erhält der Zeitkontext als Teil seiner formellen Bezeichnung die taxono-

mische Bezeichnung des Zeitverlaufs. Für die häufig verwendete periodische *Rechteckform*, die in der Taxonomie mit kursiver Schrift gekennzeichnet ist, lautet die korrekte, formelle Bezeichnung <<Zeit/Periodisch/Rechteckförmig>>. Im weiteren Verlauf dieser Arbeit wird diese zeitliche Verlaufsform verwendet.

#### 4.7.1.2 Graphische Notation

Der Zeitkontext wird wie alle anderen Kontextobjekten durch ein Rechteck mit diagonal abgerundeten Ecken dargestellt. Die folgende Abbildung zeigt die graphische Detail- und Übersichtsdarstellung des Zeitkontexts.



**Abbildung 30: Graphische Notation des Zeitkontexts in Detail- und Übersichtsform, in Anlehnung an (Scholz, 1984)**

In der Detaildarstellung (s. Abbildung 32 links) werden alle Eigenschaften eingeblendet. In der Übersichtsdarstellung wird nur die freie Bezeichnung eingeblendet. Eine benutzerdefinierte Darstellung kann vom Benutzer ausgewählte Eigenschaften darstellen. Die in der Detaildarstellung gezeigten Eigenschaften sind:

1. Formale Bezeichnung
2. Freie Bezeichnung
3. Startzeit
4. Endzeit
5. Periode
6. Wahrscheinlichkeit
7. Lebenszyklusphase
8. Variantenummer

#### 4.7.2 Forderungen

Forderungen sind ein wichtiges Bindeglied zwischen den Nutzungsfunktionen und der sie umgebenden Entwurfsobjekten. Die Funktionen stellen für ihre Ausführung Forderungen an ihre Umgebung. Der Zwang zur Befriedigung der Forderungen ist die treibende Kraft hinter dem Entwurfsprozess. (Scholz, 1984, S. 26)

Nutzungsfunktionen können Forderungen stellen, die sich an andere Entwurfsobjekte richten. Als Beispiel dafür sei eine Forderung eines maximalen Dauerschallpegels von 40 dB angeführt. Diese richtet sich nicht an die Funktion selbst, sondern an den Raum, in welchem die Funktion ausgeführt wird. (Scholz, 1984, S. 26)

Sollte die Forderung nicht befriedigt werden, können verschiedene Lösungen gesucht werden, wie z.B. eine andere Zuordnung der Nutzungsfunktionen, eine geänderte Zeit der Ausführung der Nutzungsfunktion, eine Änderung der Merkmale des Raumes oder eine Bereitstellung von Produktfunktionen, welche den gewünschten Dauerschallpegel gewährleisten.

Da Nutzungsfunktionen stets eine bestimmte Fläche in einem Raum zu ihrer Ausführung benötigen, stellen sie entsprechend eine Forderung nach Fläche. Diese gibt die geforderte Fläche pro Funktion an. (Scholz, 1984, S. A3) *Flächenforderungen spielen in dieser Arbeit eine wichtige Rolle. Auf ihrer Grundlage werden spezielle teleologische Strukturen entwickelt, die zur funktionsorientierten Optimierung des Flächenbedarfs eingesetzt werden können.*

Gewisse Arten von Forderungen können an anderen Nutzungsfunktionen gerichtet sein. Solche sind z.B. die Forderungen für Erreichbarkeit, Sichtbarkeit, oder das „negative“ Beispiel der Unverträglichkeit zwischen Nutzungsfunktionen. (Scholz, 1984, S. 56) Diese Forderungsarten schränken die Möglichkeiten der Zusammenarbeit von Nutzungsfunktionen ein. Deswegen werden sie in der gemeinsamen Kategorie „Restriktionen“ zusammengefasst.

#### 4.7.2.1 Taxonomie

Die Forderungsarten werden als eine erweiterbare Taxonomie dargestellt, die im Folgenden angeführt ist (IN ANLEHNUNG AN (Scholz, 1984)). Die Elemente dieser Taxonomie werden in der formalen Bezeichnung der Forderung verwendet.

- Fläche
- Schallpegel
- Lichtintensität / Lichtqualität
- Raumklima
- Anschluss
- Restriktion
  - Sichtbarkeit
  - Erreichbarkeit
  - Unverträglichkeit
    - Hygienische Unverträglichkeit

#### 4.7.2.2 Graphische Notation und Eigenschaften der Forderungen

Die Forderungen werden wie alle anderen Kontextobjektarten als ein Rechteck mit abgerundeten, diagonalliegenden Ecken dargestellt (s. Abbildung 31). Die Formale Bezeichnung der Forderungen fängt mit dem Schlüsselwort „Forderung“ an, an welchem die entsprechende Bezeichnung von der Taxonomie angegliedert wird.

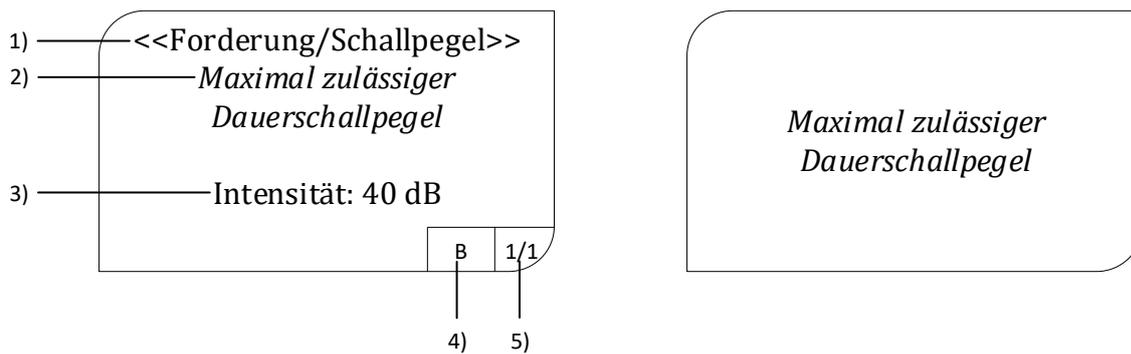


Abbildung 31: Graphische Notation einer Forderung in der Detail- und Übersichtsdarstellung, in Anlehnung an (Scholz, 1984)

Abbildung 31 links zeigt eine Forderung in der Detaildarstellung. Hier sind folgende Eigenschaften dargestellt:

1. Formale Bezeichnung
2. Freie Bezeichnung
3. Intensität
4. Lebensphase
5. Variantenummer

#### 4.7.3 Wirkungen

Nutzungsfunktionen üben Wirkungen auf ihre Umwelt aus. Die Wirkungen einer Funktion auf ihre Umwelt – Lärm, Strahlung, Wärmeabgabe, Erschütterung, Stauberzeugung usw. – sind Emissionen physikalischer Natur, die sich räumlich ausbreiten. Die Ausbreitung kann unterschiedlich ausgeprägt sein – z.B. punkt-, linien- oder flächenförmig. (Scholz, 1984, S. 17)

Die Wirkungen von Nutzungsfunktionen können in den Nutzungsfunktionsstrukturen explizit dargestellt werden. Eine Möglichkeit wäre die Abbildung der Wirkungen im Funktionsmodell als eine Unterklasse der Funktionenobjekte – als Ausgabeobjekte physikalischer Natur. Dafür würde vor allem die Ökonomie an Entwurfsobjekttypen sprechen.

Wirkungen von Nutzungsfunktionen sollten aber im Funktionendiagramm schnell und zuverlässig als solche erkannt werden können, damit sie nicht beim Entwurf der Funktionsstruktur übersehen würden. Sie haben auch eine eigene Taxonomie der Wirkungsart, die im Falle der Abbildung als Ausgabeobjekt mit der Taxonomie der Funktionenobjekte harmonisiert werden müsste. Aus diesen Gründen werden in dieser Arbeit die Wirkungen als eigenständige Entwurfsobjekte dargestellt.

##### 4.7.3.1 Taxonomien der Wirkungen

Die Wirkungsart und die Ausbreitungscharakteristik der Wirkungen werden als taxonomische Eigenschaften abgebildet. Die Taxonomien sind erweiterbar. Auf dieser Weise werden einerseits die Eindeutigkeit und andererseits die Flexibilität des Modells sichergestellt. Im Folgenden werden die Taxonomien angegeben: (IN ANLEHNUNG AN (Scholz, 1984))

## Wirkungsart

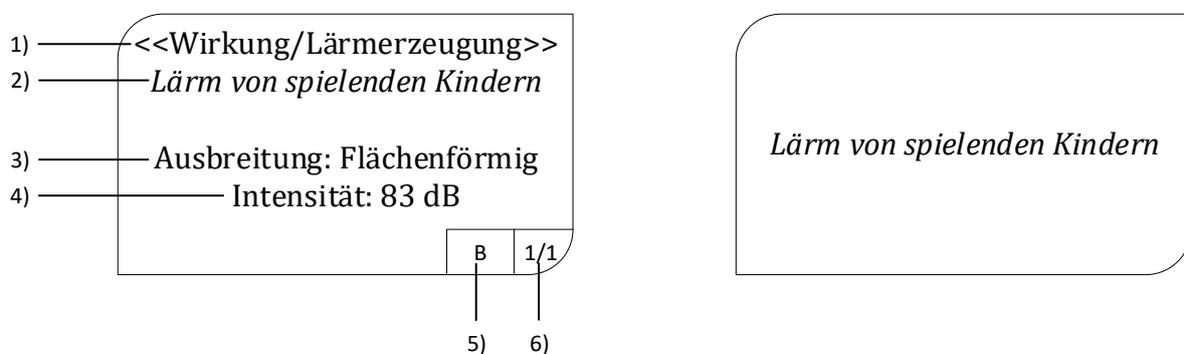
- Lärmerzeugung
- Lichterzeugung
- Erschütterung
- Strahlung
- Stauberzeugung
- Schmutzerzeugung
- Wärmeabgabe

## Ausbreitungscharakteristik

- Punktförmig
- Linienförmig
- Flächenförmig

## 4.7.3.2 Graphische Notation und Eigenschaften der Wirkungen

Wirkungen werden wie alle anderen Kontextobjekte als ein Rechteck mit abgerundeten, diagonalliegenden Ecken abgebildet. Die Formale Bezeichnung der Wirkungen fängt mit dem Schlüsselwort „Wirkung“ an, an welchem die entsprechende Bezeichnung von der Taxonomie angegliedert wird. Abbildung 32 links zeigt eine lärmerzeugende Wirkung in der Detaildarstellung und Abbildung 32 rechts zeigt dieselbe Wirkung in der Übersichts- darstellung.



**Abbildung 32: Graphische Notation einer Wirkung in Detail- und Übersichts- darstellung, in Anlehnung an (Scholz, 1984)**

Die Übersichts- darstellung zeigt nur die freie Bezeichnung der Wirkung. Die Detaildarstellung zeigt folgende Eigenschaften:

1. Formale Bezeichnung
2. Freie Bezeichnung
3. Ausbreitungscharakteristik
4. Intensität (der Lärmerzeugung)
5. Lebensphase
6. Variantennummer

## 4.8 Produktfunktionen

Produktfunktionen sind technische Funktionen, die durch das zu planende Objekt – das Produkt – selbst ausgeübt werden sollen. Sie gehören zur semantischen Beschreibung des Produktes – welche Funktionen verkörpert das Produkt, um damit die Ausführung der gewünschten Nutzungsfunktionen (Tätigkeiten) zu ermöglichen. Somit ist das Bezugssystem der Produktfunktionen das Produkt selbst. (von Both, 2006, S. 119)

Für ein effektives und effizientes Arbeiten mit funktionenorientierten Entwurfsobjekten auf den verschiedenen Ebenen des Modellraums ist es erforderlich, dass die Teilmodelle der Nutzungs- und Produktfunktionen untereinander kohärent sind – d.h. dass sie auf Informationsmodellebene miteinander kompatibel sind, und dass sie in verschiedenen Sichten und Strukturen in sinnvollen Kombinationen miteinander reibungslos einsetzbar sind (siehe Kapitel 3.2).

Deswegen sind Produktfunktionen auf der Modell- und Notationsebene mit den Nutzungsfunktionen verwandt und können ähnlich wie sie dieselben Beziehungsarten zu anderen Entwurfsobjekten haben – Austauschbeziehungen, Steuerungsbeziehungen, Kontextbeziehungen, Realisierungsbeziehungen, hierarchische und teleologische Beziehungen (siehe Kapitel 4.9). Die einzige Ausnahme ist die Nutzerbeziehung, die den Nutzungsfunktionen vorenthalten ist. Dementsprechend können Produktfunktionen in verschiedene Funktionenstruktursichten verwendet werden – hierarchische und teleologische Funktionsstruktursicht, und Funktionenflussstruktursicht.

Das wird dadurch ermöglicht, dass beide Funktionentypen auf demselben Funktionenmodellierungsansatz aufbauen. Das hierzu verwendete Funktionenmodell von Langlotz basiert auf Funktionenmodellierungsansätzen von (Roth, Konstruieren mit Konstruktionskatalogen: Band 1: Konstruktionslehre, 2000), (Pahl & Beitz, 1993), (Benz, 1990), (Huber, 1994). Huang hat dieses Modell um die Kanonischen Funktionen erweitert und dabei nachgewiesen, dass dieser Ansatz sich für die Modellierung von allgemeinen, kanonischen und speziellen Funktionen gleichermaßen eignet, vorausgesetzt, dass entsprechende Taxonomien eingesetzt werden. (Huang, 2002, S. 136-146) Der flexible Ansatz unterstützt auch teilweise die Abbildung von konkreteren Elementen der Modellebene der Lösungsprinzipien, so dass auch Simulink-Modelle aus dem Modell der Speziellen Funktionenstruktur abgeleitet werden können. (Huang, 2002, S. 166)

### 4.8.1 Eigenschaften der Produktfunktionen

Die Produktfunktionen haben viele gemeinsame Eigenschaften mit den Nutzungsfunktionen (siehe Kapitel 4.4.2). Diese sind:

- die formalen und freien Bezeichnungen
- die Verknüpfungen zu den Funktionenobjekten
  - Ein-/Ausgabeobjekte
  - Steuerungsobjekte

- Realisierungsobjekte
- die Verknüpfungen zu Kontextobjekten
  - Zeit
  - Forderungen
  - Wirkungen
- die Bezeichnung der Lebensphase der Produktfunktion
- die Gruppierungsebene
- die Versions- und Variantenummer sowie die Variantenbewertung

Kapitel 4.12.5.8 beschreibt alle Eigenschaften der Produktfunktionen. Ein wesentlicher Unterschied der Produktfunktionen von den Nutzungsfunktionen ist, dass Produktfunktionen keine direkte Beziehung zum Nutzer haben. Sie tragen zur Realisierung von Nutzungsfunktionen bei, die von dem Nutzer ausgeführt werden. Deswegen haben sie nur eine Beziehung zu den entsprechenden Nutzungsfunktionen und somit nur eine indirekte Beziehung zum Nutzer über diese.

Ein weiterer, wesentlicher Unterschied ist die Verwendung von bereits vorhandenen, standardisierbaren Taxonomien für allgemeine, kanonische oder spezielle Funktionen. Wie in Kapitel 4.4.2 beschrieben, existieren bereits mehrere Forschungsergebnisse mit entsprechenden Taxonomien, die zur Funktionenmodellierung einer Vielzahl von Produkten herangezogen werden können. Diese Taxonomien können zwar bei Bedarf ähnlich wie die Nutzungsfunktionstaxonomien erweitert werden, da sie aber grundlegende, technische Zusammenhänge beschreiben, sind sie resistenter gegen Änderungsbedarf.

#### 4.8.2 Notation der Produktfunktionen

Produktfunktionen fügen sich genau wie die Nutzungsfunktionen dem Konzept der mehrstufigen Darstellung von Funktionenstrukturen, welcher in Kapitel 4.4.3 eingeführt wird. Dementsprechend haben sie mehrere Darstellungsformen: Übersichtsdarstellung, Detaildarstellung und benutzerdefinierte Darstellung, die im Folgenden beschrieben werden.

#### 4.8.3 Übersichtsdarstellung der Produktfunktionen

Die Übersichtsdarstellung ist die einfachste Darstellungsform der Produktfunktionen. Die Produktfunktion wird als ein gewöhnliches Rechteck dargestellt. Die einzige Eigenschaft, die gezeigt wird, ist die freie Bezeichnung (siehe Abbildung 33 rechts).

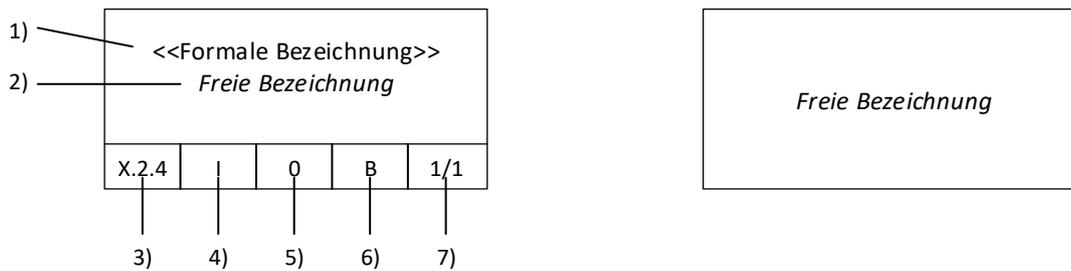


Abbildung 33: Notation einer generischen Produktfunktion in der Detail- und Übersichtsdarstellung, in Anlehnung an (Langlotz, 2000, p. 134)

#### 4.8.4 Detaildarstellung der Produktfunktionen

In der Detaildarstellung wird eine Reihe von Eigenschaften gezeigt, welche im Folgenden aufgelistet sind (siehe Abbildung 33 links): IN ANLEHNUNG AN (Langlotz, 2000, p. 134)

1. Formale Bezeichnung
2. Freie Bezeichnung
3. Position in der Hierarchie
4. Realisierungsindex
5. Gruppierungsebene
6. Lebensphase (in diesem Beispiel: Benutzung)
7. Variantennummer

#### 4.8.5 Benutzerdefinierte Darstellung der Produktfunktionen

In der Benutzerdefinierten Darstellung kann der Benutzer festlegen, welche Eigenschaften dargestellt werden und welche ausgeblendet werden.

### 4.9 Beziehungen der Entwurfsobjekte

Nutzungsfunktionenbeziehungen drücken funktionale Abhängigkeiten zwischen Nutzungsfunktionen und weiteren Entwurfsobjekten – z.B. andere Funktionen, Funktionsobjekte und Kontextobjekte – aus.

In der Entwurfsmethodik der Architektur (s. z.B. (Scholz, 1984), (Schönfeld, 1992), (Engel, 2002), (Bielefeld & El Khouli, 2011)) wird der Begriff der funktionalen Beziehung z.T. anders belegt als in der mechatronischen Entwurfsmethodik. Ein Beispiel dafür ist die Klasse der Lagebeziehungen zwischen Funktionen – Sicht- und Wegebeziehungen, Beziehungen der räumlichen Nähe, räumlichen Abhängigkeit und räumlichen Integration. Das hängt damit zusammen, dass im Funktionsverständnis der architektonischen Entwurfsmethodik keine strikte Unterscheidung zwischen funktionalen und räumlichen bzw. topologischen Aspekte gemacht wird (s. Kapitel 2.1.4).

*In dieser Arbeit gehören Lagebeziehungen nicht zu den funktionalen Beziehungen, bzw. sie werden mit anderen Mitteln ausgedrückt. Lagebeziehungen verknüpfen Entwurfsobjekte,*

welche eine topologische oder geometrische Semantik aufweisen. Solche Objekte sind die räumlichen Funktionenbereiche, die zwar Beziehungen mit Nutzungsfunktionen haben, sich aber von diesen klar unterscheiden.

Im Zusammenhang mit der Art der verknüpften Entwurfsobjekte werden verschiedene Klassen von Funktionenbeziehungen erläutert. Das folgende UML Klassendiagramm zeigt eine Übersicht der Beziehungsklassen.

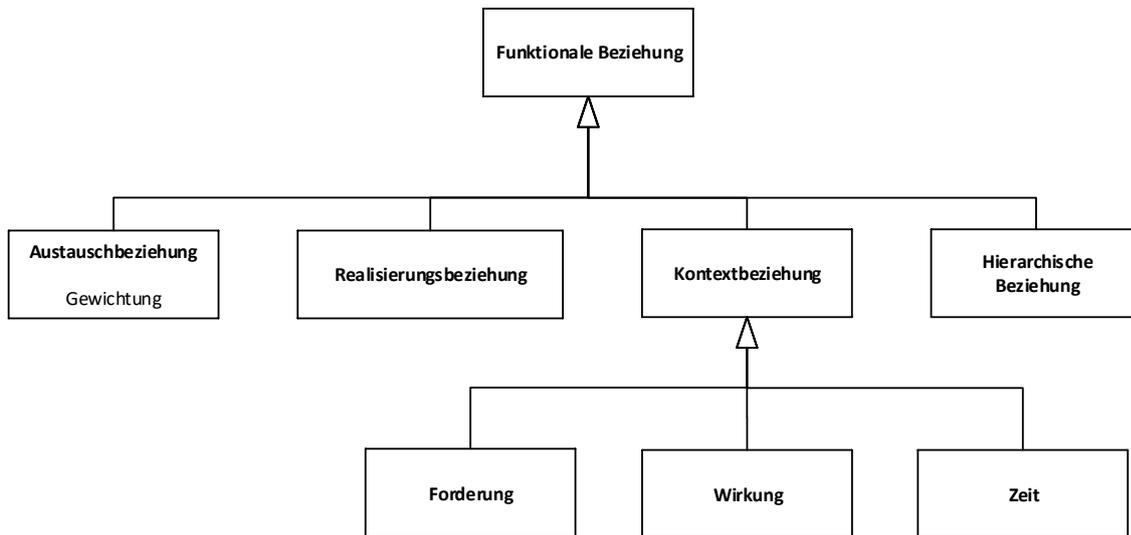


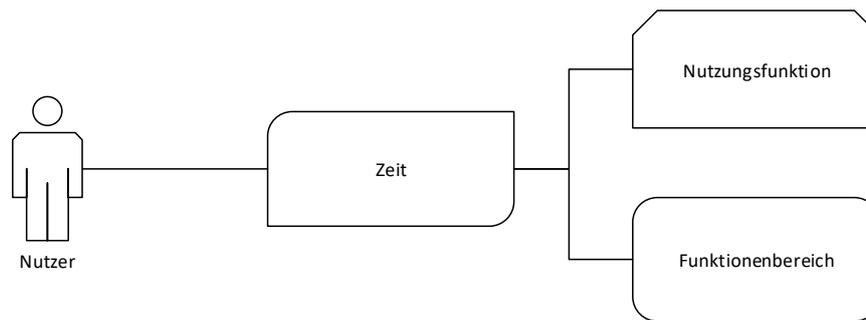
Abbildung 34: UML Klassendiagramm (Vererbungshierarchie) der funktionalen Beziehungen

Wie oben erläutert, gehören Lagebeziehungen nicht zu der Klasse der funktionalen Beziehungen und sind deswegen in Abbildung 34 nicht zu finden. Als funktionale Beziehungen werden hier folgende Beziehungsklassen bezeichnet:

- Austauschbeziehungen
- Realisierungsbeziehungen
- Kontextbeziehungen
- Hierarchische Beziehungen

#### 4.9.1 Nutzerbeziehung

Ein Nutzer führt eine Nutzungsfunktion zu einer bestimmten Zeit an einem bestimmten Ort aus (s. Kapitel 4.5). Demzufolge erfolgt die Beziehung der Nutzer zu den Nutzungsfunktionen und zu den räumlichen Funktionenbereichen über den Zeitkontext (s. Kapitel 4.7.1). Die Beziehung wird durch eine Linie graphisch dargestellt.



**Abbildung 35: Nutzerbeziehung zu einer Nutzungsfunktion und zu einem Funktionenbereich über den Zeitkontext**

#### 4.9.2 Austauschbeziehung

Austauschbeziehungen zwischen Funktionen stellen den Zusammenhang zwischen Ein- und Ausgangsgrößen von Nutzungsfunktionen dar. Die Funktionenflussgrößen selber werden durch Funktionenobjekte dargestellt (siehe Kapitel 4.6). Funktionenflussobjekte können durch ihre taxonomische Typisierung unterschiedliche Klassen von Objekten darstellen – Energie, Stoff, Information, Personen, Produkte usw. (Scholz, 1984, S. 26)

Ein Funktionenobjekt kann in einer Funktionenflussstruktur sowohl als Eingangs- als auch als Ausgangsgröße von verschiedenen Funktionen auftreten. So kann z.B. ein Ausgangsobjekt einer Nutzungsfunktion als Eingangsobjekt einer anderen Nutzungsfunktion dienen und somit einen Zusammenhang zwischen diesen beiden Nutzungsfunktionen ausdrücken (s. Abbildung 36).

Austauschbeziehungen sind gerichtete Beziehungen – sie bestimmen die Ein- und Ausgänge von Nutzungsfunktionen und geben somit die Richtung des Funktionenflusses an. Diese wird durch Pfeilspitzen dargestellt (s. Abbildung 36).



**Abbildung 36: Funktionenobjekte als Ein-/Ausgangsgrößen verschiedener Funktionen**

Wie bereits erwähnt, wird in dieser Arbeit eine strikte Unterscheidung zwischen den funktionalen Austauschbeziehungen und den Beziehungen der räumlichen Funktionenbereiche wie z.B. „Benachbarung“ und „Wegebeziehung“ vollzogen. Eine Austauschbeziehung hat keine topologischen oder räumlichen Attribute, aus denen z.B. eine „Benachbarung“ zwangsweise impliziert werden kann oder muss.

Auf der Abstraktionsebene der Nutzungsfunktionen existieren bewusst keine solche Attribute, nicht zuletzt um eine verfrühte Festlegung von topologischen Parametern des Entwurfes zu vermeiden. Funktionen stellen abstrakte Aspekte des Entwurfs dar. Deswegen werden stattdessen Austauschbeziehungen mit einer Priorität belegt. Diese legt die Gewichtung der Austauschbeziehung zweier Funktionen fest. Die Priorität wird graphisch durch die Strichstärke ausgedrückt.

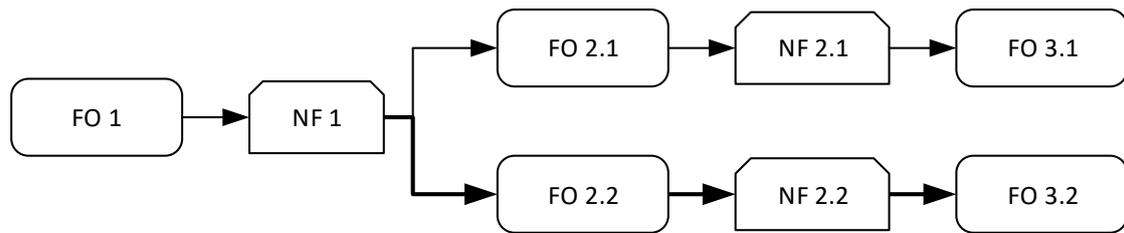


Abbildung 37: Graphische Darstellung der Priorisierung von Austauschbeziehungen

Der Planer kann zwar im Verlauf des Entwurfsprozesses auf Grundlage der Prioritäten der Austauschbeziehungen eine informierte Entscheidung über die räumlichen bzw. topologischen Beziehungen – Benachbarung, räumliche Nähe, räumliche Integration usw. – der Nutzungsfunktionenbereiche treffen. Es besteht jedoch kein zwingender Automatismus, welcher aus den Prioritäten der Funktionenbeziehungen die Qualitäten der räumlichen Beziehungen ableiten kann.

Der kreative Denkprozess, welcher den Übergang von den abstrakteren, teleologischen Funktionenbeziehungen zu den konkreteren Beziehungen der räumlichen Funktionenbereiche bewerkstelligt, ist vielmehr ein wesentlicher Bestandteil der geistigen Leistung des Planers. Dieser kann hierzu sein Wissen, seine Erfahrung, sowie eine Vielzahl an Informationen heranziehen, die in weiteren Teilmodellen und Dokumenten festgehalten worden sind.

#### 4.9.3 Steuerungsbeziehung

Nutzungsfunktionen können ähnlich wie Produktfunktionen durch externe Informationsobjekte gesteuert werden (Langlotz, 2000, S. 139). Eine Steuerungsbeziehung von einem Funktionenobjekt zu einer Nutzungsfunktion bedeutet, dass die in diesem Objekt gekapselten Informationen eine Auswirkung auf der Ausführung der Nutzungsfunktion haben können. Die Steuerungsbeziehung wird als eine gestrichelte Linie mit einer Pfeilspitze dargestellt (s. Abbildung 38).

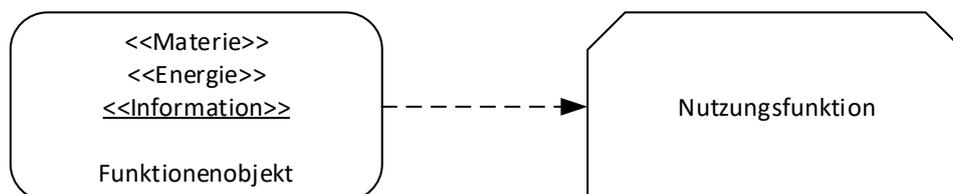


Abbildung 38: Steuerungsbeziehung, analog zu (Langlotz, 2000)

#### 4.9.4 Kontextbeziehung

Kontextobjekte sind semantische Erweiterungen der Nutzungsfunktion (s. Kapitel 4.7). Demzufolge verknüpfen Kontextbeziehungen Kontextobjekte – Zeitkontexte, Forderungen und Wirkungen – mit Nutzungsfunktionen. Da Kontextobjekte keinen Fluss darstellen, sondern eine semantische Erweiterung einer Nutzungsfunktion, werden sie mit einer nicht gerichteten Beziehung mit der entsprechenden Nutzungsfunktion verknüpft.

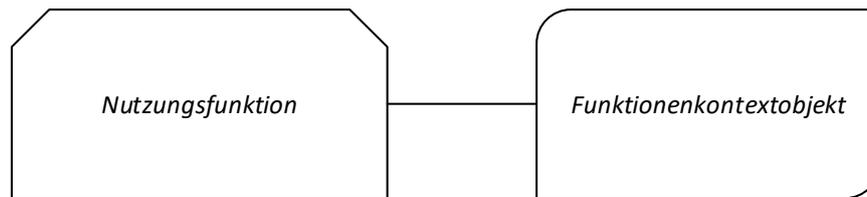


Abbildung 39: Kontextbeziehung zwischen einer Nutzungsfunktion und einem Funktionenkontextobjekt

Die modellierten Beziehungen der Nutzungsfunktionen mit Zeitkontexten, Forderungen und Wirkungen, sowie die gewichteten Austauschbeziehungen können als Entscheidungsgrundlage für die Planung der räumlichen Funktionenbereiche und der nachgelagerten Planungsschritte dienen. Darüber hinaus können Kontextbeziehungen zur Überprüfung der Konsistenz der Nutzungsfunktionenstruktur durch den Planer oder durch automatisierte Verfahren dienen.

#### 4.9.5 Realisierungsbeziehung

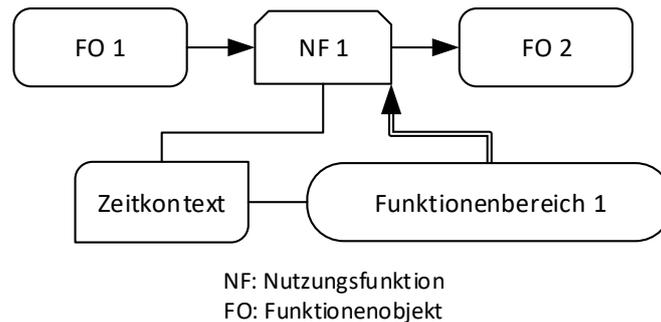
Realisierungsbeziehungen sind funktionale Abhängigkeiten zwischen Funktionenobjekte und Funktionen – Nutzungsfunktionen und Produktfunktionen. Funktionenobjekte können in der Rolle eines Hilfs- bzw. eines Realisierungsobjekts einer Funktion auftreten. Das bedeutet, dass das Funktionenobjekt den Träger bzw. die Verkörperung dieser Funktion darstellt (engl. *embodiment*, s. (Hirtz, Stone, McAdams, Szykman, & Wood, 2002)).

Im Falle der speziellen Funktionen (Produktfunktionen) sind etwa (mechatronische) Komponenten, welche die gegebene Funktion verkörpern, die Realisierungsobjekte. Die Realisierungsbeziehungen werden in Anlehnung an Langlotz – s. (Langlotz, 2000, S. 127, 139) – mit einer doppelten Linie graphisch dargestellt (s. Abbildung 40). Während Langlotz lediglich die Realisierungsbeziehungen von Produktfunktionen behandelt, werden in dieser Arbeit die Realisierungsbeziehungen von Nutzungsfunktionen, sowie die damit verbundenen komplexen teleologischen (Mittel-Zweck) Beziehungen zwischen Produkt- und Nutzungsfunktionen erarbeitet.

Laut Scholz ist ein räumlicher Funktionenbereich (in seiner Terminologie – eine räumliche Einheit bzw. ein abstrakter Raum) ein Gebilde, welches eine Nutzungsfunktion aufnehmen kann. Eines der zentralen Ziele des Planers ist es, räumliche Einheiten zu bilden, die bestimmte Funktionen aufnehmen. (Scholz, 1984, S. 23, 27)

Demzufolge sind die abstrakten Funktionenbereiche, welche benötigt werden, um eine Nutzungsfunktion auszuführen, bzw. welche die Nutzungsfunktion aufnehmen, als Realisierungsobjekte zu bezeichnen. Die Realisierungsbeziehung stellt somit die Verknüpfung zwischen den Teilmodellen der Nutzungsfunktionenstruktur und der Struktur der abstrakten Funktionenbereiche dar. Die Zuordnung von Nutzungsfunktionen zu Funktionenbereichen ist eine m:n Beziehung: (Scholz, 1984, S. 59) Ein Funktionenbereich kann mehrere Funktionen aufnehmen, und eine Nutzungsfunktion kann in mehreren Funktionenbereichen ausgeführt werden.

Der Zeitaspekt der Beziehung Nutzungsfunktion – Funktionenbereich ist dabei essentiell. Eine Funktion kann zu einem Zeitpunkt an nur einem Ort – in einem Funktionenbereich – stattfinden. (Scholz, 1984, S. 66) Eine entsprechende Zeitverschiebung ermöglicht es u.U., sich gegenseitig ausschließende Funktionen in benachbarten Funktionenbereichen durchzuführen. Das spielt besonders dann eine Rolle, wenn eine Platzoptimierung notwendig ist, oder bei störenden Wirkungen und Einflüssen wie Lärm oder Strahlung. (Scholz, 1984, S. 32) Umgekehrt können manche Funktionen unter Beachtung des zeitlichen Aspektes mehreren räumlichen Funktionenbereichen zugeordnet werden. (Scholz, 1984, S. 59)

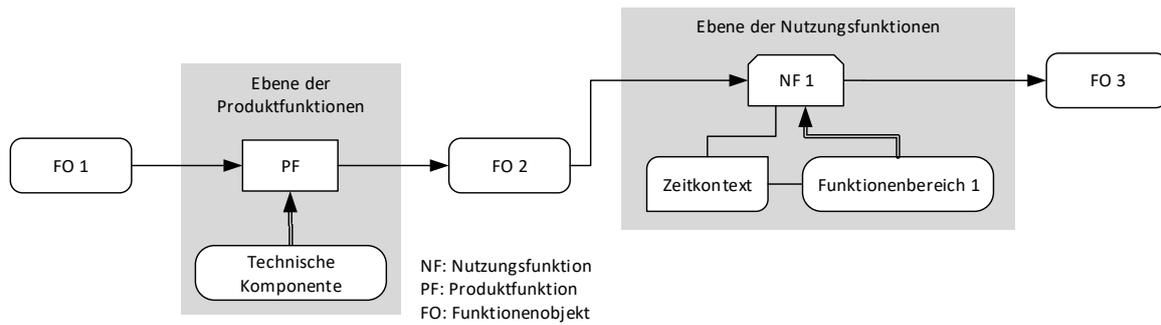


**Abbildung 40: Funktionenbereich als Realisierungsobjekt einer Nutzungsfunktion, analog zu (Langlotz, 2000, p. 139)**

Die Realisierungsbeziehung zwischen abstrakten Funktionenbereichen und Nutzungsfunktionen wird dadurch motiviert, dass die Nutzungsfunktionen für ihre Durchführung an ihre Umwelt bestimmte Forderungen richten, die nicht immer durch die natürlichen Bedingungen realisiert werden. Scholz schreibt in diesem Zusammenhang: „Aus dem Zwang der Befriedigung dieser Bedürfnisse ergibt sich die Aufgabe, die Umweltbedingungen mittels der Bauobjekte so umzugestalten, dass sie den Forderungen der Funktionen genügen.“ (Scholz, 1984, S. 26)

Diese Umgestaltung schließt neben der oben erwähnten Bildung von räumlichen Einheiten auch die Lösungsfindung technischer Problemstellungen – Beleuchtung, Heizung, Belüftung um einige Beispiele zu nennen. Solche Sachverhalte werden mittels Produktfunktionen – Funktionen des Bauobjektes – dargestellt.

Technische Komponenten oder Geräte, welche benötigte Eingangsgrößen für die Nutzungsfunktionen bereitstellen, können Realisierungsobjekte von Produktfunktionen sein. Die Produktfunktionen verarbeiten mit Unterstützung der Realisierungsobjekte Eingangsobjekte, und stellen Ausgangsobjekte bereit. Letztere können als Eingangsobjekte von weiteren Funktionen – Nutzungsfunktionen eingeschlossen – dienen (s. Abbildung 41).



**Abbildung 41: Realisierungsbeziehungen von verknüpften Produkt- und Nutzungsfunktionen, in Anlehnung an (Langlotz, 2000, p. 127), (Huang, 2002)**

Auf dieser Weise können technische Komponenten (Realisierungsobjekte) über die entsprechenden technischen Funktionen und deren Ausgabeobjekte indirekt mit Nutzungsfunktionen verknüpft werden. Im Umkehrschluss können die technischen Realisierungsobjekte, welche zur Realisierung einer Nutzungsfunktion erforderlich sind, durch eine Analyse der Eingabeobjekte und der entsprechenden Produktfunktionen gefunden werden.

Direkte oder indirekte Realisierungsbeziehungen haben eine Auswirkung auf den Realisierungsindex der Funktionen (s. Kapitel 4.4.1). Produktfunktionen oder sekundäre / tertiäre Nutzungsfunktionen haben einen höheren Realisierungsindex als die entsprechende Nutzungsfunktion, zu deren Realisierung sie beitragen.

Der Realisierungsindex, bzw. die Position einer Funktion in der Kette der Realisierungsbeziehungen spielt eine wichtige Rolle. Deswegen wird in dieser Arbeit auf Grundlage der Kette der Realisierungsbeziehungen ein erweitertes Konzept zur teleologischen Untersuchung von Funktionen entwickelt. Einerseits können im Rahmen der Funktionssynthese mithilfe dieser Kette fehlende Funktionen identifiziert und ergänzt werden.

Andererseits können bei Optimierungen mithilfe des Realisierungsindex gezielt Ansatzpunkte gewählt werden. Es sollten in der Regel zuerst die Funktionen optimiert werden, welche einen niedrigeren Realisierungsindex (bzw. einen höheren teleologischen Rang) haben, da diese unter Umständen durch die Auswahl anderer Sekundär- und Tertiärfunktionen weitere Optimierungen überflüssig machen würden. (Langlotz, 2000, S. 126)

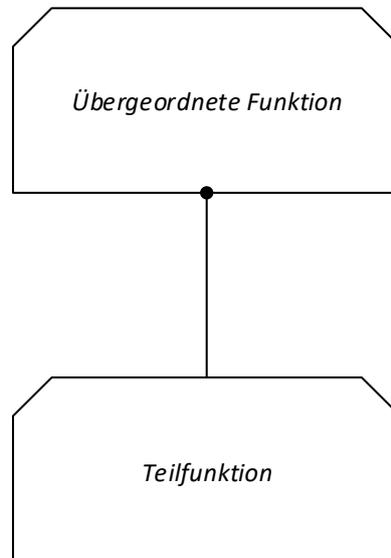
Um die Realisierungsbeziehungen zwischen Funktionen übersichtlicher darzustellen und besser handhaben zu können, wird in dieser Arbeit eine dedizierte Sicht der Funktionsstruktur verwendet, die ihren Ursprung in der Funktionsanalyse hat (s. Kapitel 4.10.2).

#### 4.9.6 Hierarchische Beziehung

Nutzungsfunktionen können – wie andere Funktionentypen – in hierarchische Beziehungen untereinander treten. Das abstrakte Konzept der Funktionen ist inhärent hierarchisch (Pahl & Beitz, 1993, S. Abb. 4-13) Eine Nutzungsfunktion kann mehrere Teilfunktionen besitzen und gleichzeitig ein Teil einer übergeordneten Funktion sein. Auf diese Weise

kann eine beliebig verschachtelte Struktur aufgebaut werden. Die hierarchische Beziehung ist als eine Aggregationsbeziehung zu klassifizieren – eine Teile-Ganzes-Beziehung, bei welcher die Teilfunktionen als „Teile“ und deren übergeordnete Funktion als „Ganzes“ zu interpretieren sind. Mittels hierarchischen Beziehungen zwischen Nutzungsfunktionen können Funktionenstrukturen – Funktionenbäume – aufgebaut werden, welche im Kapitel 4.10.1 behandelt werden.

Hierarchische Beziehungen werden mit einer Linie zwischen den beiden Nutzungsfunktionen graphisch dargestellt (s. Abbildung 42) .



**Abbildung 42: Hierarchische Beziehung zwischen einer übergeordneten Funktion und einer Teilfunktion**

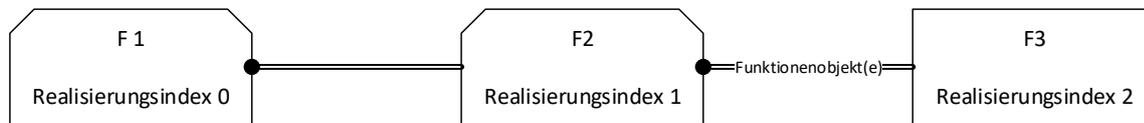
Im Unterschied zu anderen Notationen, wie z.B. diese von Langlotz (Langlotz, 2000) und Huang (Huang, 2002), wird hier die Richtung der hierarchischen Beziehung angegeben, um eine eindeutige Interpretation des Modells sicherzustellen. Dies geschieht durch einen Punkt auf der Seite der aggregierenden Funktion.

#### 4.9.7 Teleologische Beziehung

Teleologische Beziehungen sind Mittel-Zweck-Beziehungen zwischen Funktionen, wobei an einer solchen Beziehung sowohl Nutzungs- als auch Produktfunktionen teilnehmen können. Teleologische Beziehungen sind direkte Beziehungen zwischen zwei Funktionen ähnlich wie hierarchische Beziehungen (siehe Kapitel 4.9.6). Für die Beziehung relevante Funktionenobjekte können zusätzlich angegeben werden, sind aber nicht zwingend erforderlich (siehe Kapitel 4.9.5).

Teleologische Beziehungen besagen, zu welchem Zweck eine Funktion existiert bzw. wie eine Funktion durch andere Funktionen realisiert wird. Dementsprechend wirken sie sich direkt auf den Realisierungsindex der an der Beziehung beteiligten Funktionen aus (siehe Kapitel 4.4.1). Teleologische Beziehungen können mehrere Funktionen zu einer teleologischen Kette verbinden. Diese Merkmale der teleologischen Beziehung machen sie zu einem geeigneten Modellelement, um ein systematisches Durchschreiten des Modellraums

auf der teleologischen Achse zu unterstützen (siehe Kapitel 4.2). Abbildung 43 zeigt zwei teleologische Beziehungen zwischen drei Funktionen, welche eine teleologische Kette bilden.



**Abbildung 43: Teleologische Beziehung zwischen drei Funktionen**

Die ersten beiden Funktionen in diesem Beispiel sind Nutzungsfunktionen, die Letzte ist eine Produktfunktion. Die Funktion F1 ist der Zweck für die Existenz der Funktionen F2 und F3. Dies wird ausgedrückt durch die doppelte Linie der teleologischen Beziehung und durch den schwarzen Punkt auf der Seite der „Zweckfunktion“ F1. Die Funktionen F2 und F3 sind Mittel zur Erfüllung dieses Zwecks. Die teleologische Beziehung zwischen den Funktionen F2 und F3 ist zusätzlich um die Angabe der freien Bezeichnung der für diese Beziehung relevanten Funktionenobjekte erweitert. Diese Erweiterung ist optional.

## 4.10 Nutzungsfunktionenstruktur und Nutzungsfunktionenstruktursichten

Während in den vorherigen Kapiteln die einzelnen Bausteine der Funktionenmodellierungssprache und die Möglichkeiten zu deren Verknüpfungen beschrieben werden, werden in diesem Kapitel die verschiedenen Sichten auf die Nutzungsfunktionenstruktur bzw. auf das Teilmodell der Nutzungsfunktionen beschrieben.

Eine Nutzungsfunktionenstruktursicht beinhaltet eines oder mehrere Entwurfsobjekte, welche durch Beziehungen verknüpft sind. Ein Entwurfsobjekt – z.B. eine Nutzungsfunktion oder ein Funktionenobjekt – kann in mehreren Sichten, bzw. in mehreren Arten von Nutzungsfunktionenstruktursichten dargestellt werden.

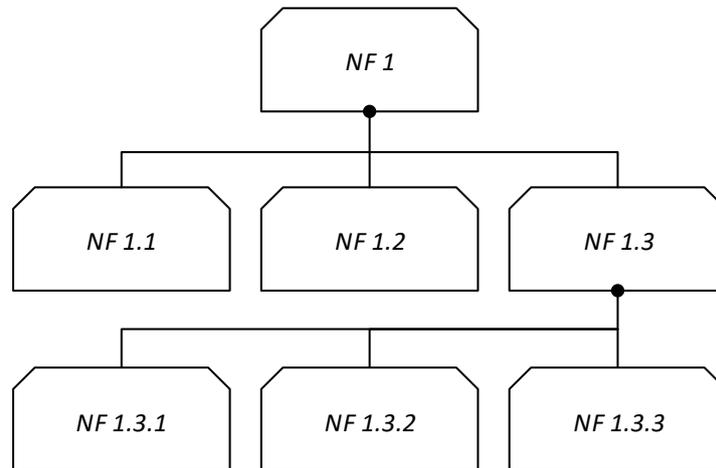
Die zulässigen Entwurfsobjekt- und Beziehungsklassen hängen von der Art der verwendeten Funktionenstruktursicht ab. So kann sichergestellt werden, dass während im Hintergrund ein semantisch reiches Funktionenmodell aufgebaut wird, im Vordergrund ein systematisches und zielgerichtetes Arbeiten mit den komplexen Vernetzungen der Funktionenstruktur ermöglicht wird.

### 4.10.1 Der Funktionenbaum – die hierarchische Nutzungsfunktionenstruktursicht

Der Funktionenbaum ist ein weit verbreiteter Funktionenstrukturtyp – s. (Pahl & Beitz, 1993), (Roth, Konstruieren mit Konstruktionskatalogen: Band 1: Konstruktionslehre, 2000), (Langlotz, 2000), (Hirtz, Stone, McAdams, Szykman, & Wood, 2002), (Huang, 2002), (von Both, 2006) und andere. Er basiert auf den hierarchischen Beziehungen zwischen den Nutzungsfunktionen, die im Kapitel 4.9.6 erläutert wurden. Somit stellt er eine Sicht auf die Teile-Ganzes-Beziehungen

zwischen den Nutzungsfunktionen dar – der Funktionenbaum ist eine hierarchische Darstellung der Nutzungsfunktionenstruktur.

In einem Funktionenbaum werden keine Funktionenflüsse und keine Realisierungsobjekte dargestellt. Die zulässigen Entwurfsobjekte sind die Nutzungsfunktionen und die zulässigen Beziehungen sind die hierarchischen Beziehungen (s. Abbildung 44). Diese Einschränkungen ermöglichen eine leichter zu interpretierende und intuitiver zu benutzende Struktur, die übersichtlich die Verschachtelungen der Nutzungsfunktionen darstellt.



**Abbildung 44: Eine generische Funktionenstruktursicht**

Somit ist der Funktionenbaum eine in ihrer Anwendung einfach zu erlernende Funktionenstruktur, die aber keine vielfältigen Zuordnungen und Beziehungen zwischen den Funktionen erlaubt. (VDI2803, 1996, S. 5) Er kann zu verschiedenen Zwecken benutzt werden, von denen im Folgenden einige angegeben werden. Er kann eingesetzt werden, um komplexe Funktionenstrukturen übersichtlicher zu gestalten, um deren Komplexität besser zu beherrschen und um deren Handhabung zu verbessern.

Darüber hinaus eignet sich der Funktionenbaum als eine relativ einfache und intuitive Sicht auf den Nutzungsfunktionen gut zur Unterstützung der initialen Strukturierung der Funktionen. Der Funktionenbaum kann als Ausgangspunkt zur Erstellung der Funktionenstrukturen dienen, die in den nächsten Kapiteln behandelt werden.

#### 4.10.2 Der Funktionengraph – die zweckorientierte Nutzungsfunktionenstruktursicht

Der Funktionengraph ist eine geeignete Sicht zur Darstellung teleologischer Beziehungen – Mittel-Zweck-Beziehungen – zwischen Funktionen. Diese Beziehungen legen die relative Rangfolge der Funktionen in Abhängigkeit von ihren Realisierungsindizes fest (siehe Kapiteln 4.4 und 4.9.6). Aufgrund des Funktionengraphen wird hier das Konzept der teleologischen (zweckorientierten) Nutzungsfunktionenstruktursicht entwickelt.

Der Realisierungsindex, bzw. die Position einer Funktion in der Kette der teleologischen Beziehungen spielt eine wichtige Rolle. Einerseits können im Rahmen der Funktionensynthese mithilfe dieser Kette fehlende Funktionen identifiziert und ergänzt werden.

Andererseits können bei Optimierungen mithilfe des Realisierungsindex gezielt nach Ansatzpunkte gesucht werden – es sollten in der Regel zuerst die Funktionen optimiert werden, welche einen niedrigeren Realisierungsindex haben, da diese unter Umständen durch die Auswahl anderer Sekundär- und Tertiärfunktionen weitere Optimierungen überflüssig machen würden. (Langlotz, 2000, S. 126)

Während man in der Mechatronik und Architektur über Primär-, Sekundär und Tertiärfunktionen spricht (s. Kapitel 2.2.2 und 2.2.5), (Langlotz, 2000, S. 127), (Scholz, 1984, S. 15, 27) werden in der Funktionenanalyse in diesem Zusammenhang die Begriffe Basis- und Folgefunktion verwendet (VDI2803, 1996, S. 7) (s. Kapitel 2.2.1). Diese Bezeichnung weist einen relativen Charakter auf – eine Basisfunktion kann gleichzeitig eine Folgefunktion einer hochrangigeren Funktion sein. Im weiteren Verlauf wird wegen ihrer höheren Flexibilität die Terminologie aus der Funktionenanalyse verwendet.

Teleologische Beziehungen zeigen, wie eine Basisfunktion realisiert wird – welche Folgefunktionen benötigt werden, um sie realisieren zu können, oder umgekehrt, wozu eine Folgefunktion da ist – welche Basisfunktionen sie unterstützt. Das komplexe Zusammenspiel zwischen dem Geflecht von Basis-, Folge-, Nutzungs- und Produktfunktionen erfordert eine übersichtliche, graphische Darstellung der teleologischen Beziehungen.

Im Unterschied zum streng hierarchischen Funktionenbaum, können die Beziehungen im Funktionengraph in beiden Richtungen eine mehrfache Multiplizität aufweisen – eine Basisfunktion kann zu ihrer Realisierung mehrere Folgefunktionen benötigen und eine Folgefunktion kann mehreren Zwecken dienen – mehrere Basisfunktionen unterstützen. Aus diesem Grund ist eine Graph-Struktur zur korrekten Darstellung von teleologischen Beziehungen notwendig.

Diese Struktur ist der teleologische Funktionengraph, bzw. die teleologische Funktionenstruktursicht. Die Funktionenanalyse beschäftigt sich intensiv mit der teleologischen Rangfolge von Funktionen (s. Kapitel 2.2.1). Das FAST<sup>2</sup>-Diagramm (Akiyama, 1994, S. 32), (VDI2803, 1996, S. 7) aus der Funktionenanalyse dient in dieser Arbeit als Grundlage für die Erarbeitung der teleologischen Funktionenstruktursicht.

Abbildung 45 zeigt eine generische, teleologische Funktionenstruktursicht. Die Funktionen können wahlweise von oben nach unten oder, wie in diesem Beispiel dargestellt, von links nach rechts entsprechend ihrer teleologischen Rangfolge angeordnet werden.

Auf der linken Seite sind die übergeordneten Funktionen (ÜF), die den niedrigsten Realisierungsindex haben, zu finden. Der Realisierungsindex nimmt in Richtung Rechts zu. Das bedeutet, dass die Funktionen auf der linken Seite die Zwecke, und die Funktionen weiter rechts die Mittel darstellen. Eine Analyse der Funktionen nach rechts beantwortet die

---

<sup>2</sup> Function Analysis System Technique (FAST) (Akiyama, 1994, S. 32)

Frage „wie“ die Funktionen auf der linken Seite realisiert werden. Eine Analyse in Richtung links beantwortet die Frage „wozu“ die Funktionen auf der rechten Seite dienen. Funktionen, die sich links von der Grenze des Untersuchungsraumes befinden, werden in der Funktionenanalyse auch als funktionale Ziele des Projekts bezeichnet. (VDI2803, 1996, S. 6)

Die ÜF werden auf ihrer rechten Seite von den Basisfunktionen (BF) gefolgt und sind mit ihnen durch eine doppelte Linie verbunden, die auf der Seite der ÜF einen schwarzen Punkt hat. Diese doppelte Linie ist die graphische Darstellung der teleologischen Beziehung. Der Punkt steht auf der Seite der hochrangigeren Funktion. Auf der Linie können die Funktionenobjekte, welche für die teleologische Beziehung relevant sind, durch ihre freien Bezeichnungen dargestellt werden. Parallelfunktionen werden mit einer einfachen Linie verbunden.

Wie oben erwähnt, haben teleologische Beziehungen die Multiplizität m:n. In Abbildung 45 benötigt die „Übergeordnete Funktion 1“ zwei weitere Funktionen – „Basisfunktion 1“ und „Basisfunktion 2“ zu ihrer Realisierung. Umgekehrt unterstützt die „Folgefunktion 4“ die Realisierung zweier hochrangigeren Funktionen – „Folgefunktion 2“ und „Folgefunktion 3“.

Die Begriffe „Übergeordnete Funktion“, „Basisfunktion“, „Folgefunktion“ (FF), „Parallelfunktion“ (PF) und „Akzeptierte Funktion“ (AF) sind mit rein teleologischer Semantik belegt. Sie sind unabhängig davon, ob eine Funktion eine Nutzungsfunktion oder eine Produktfunktion ist. So ist z.B. die „Basisfunktion 1“ eine Nutzungsfunktion. Die „Basisfunktion 2“ ist dagegen eine Produktfunktion.

Ein wichtiges Merkmal der teleologischen Funktionenstruktursicht ist die Flexibilität des Untersuchungsraums (engl. „scope“). Je nachdem wie dessen linke und rechte Grenzen gesetzt werden, können verschiedene Funktionen als ÜF, BF, FF oder AF betrachtet werden.

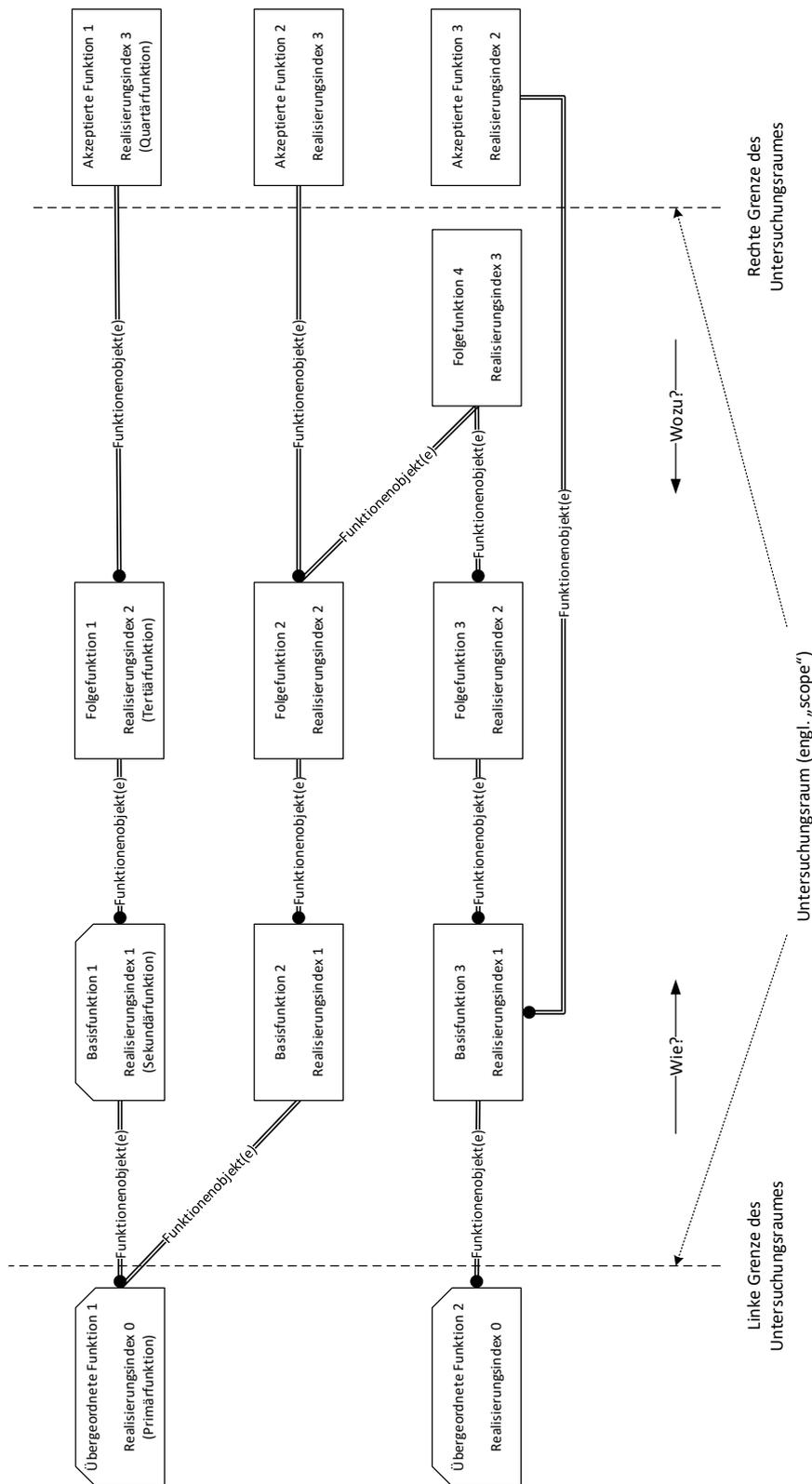
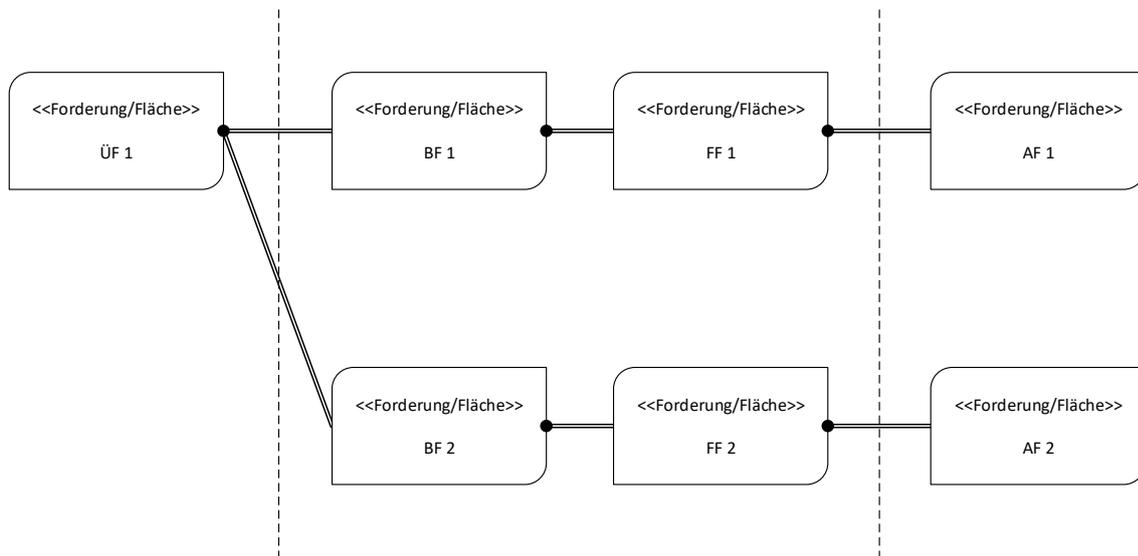


Abbildung 45: Eine generische, teleologische Funktionenstruktursicht, in Anlehnung an (VDI2803, 1996, S. 7)

Teleologische Sichten können die Evaluierung und Optimierung von Entwurfsvarianten unterstützen. Zu diesem Zweck kann es sinnvoll sein, zusätzlich zu Funktionen auch andere Entwurfsobjekttypen, welche einen direkten Zusammenhang zu den Funktionen haben, mittels teleologischer Diagramme darzustellen und zu analysieren.

Auf dieser Weise werden in dieser Arbeit teleologische Sichten von Funktionenkontextobjekten wie z.B. Forderungen entwickelt (s. Abbildung 46). Dabei wird die Rangfolge der entsprechenden Funktionen beachtet und in die Rangfolge der Forderungen abgebildet. Dadurch können Forderungen und ihr funktionaler Rang anschaulich und übersichtlich zu Zwecke der Evaluierung und Optimierung dargestellt werden.



**Abbildung 46: Ein generisches, teleologisches Diagramm mit Flächenforderungen**

Die Flächenforderungen der Funktionen sind von besonderem Interesse für den architektonischen Entwurf. Abbildung 46 zeigt ein Beispiel eines generischen, teleologischen Diagramms mit Flächenforderungen. Dieses ist abgeleitet von den in Abbildung 45 modellierten Funktionen.

Angenommen, dass die übergeordneten Funktionen 1 und 2, die Basis- und Folgefunktionen 1 und 2, sowie die akzeptierten Funktionen 1 und 2 jeweils eine Flächenforderung aufstellen, ergibt sich das in Abbildung 46 dargestellte teleologische Diagramm der Flächenforderungen. Eventuelle Parallelfunktionen (siehe (VDI2803, 1996, S. 11)) mit Flächenforderungen in der teleologischen Funktionenstruktursicht in Abbildung 45 würden in entsprechenden Parallelforderungen in der teleologischen Struktursicht der Flächenforderungen (Abbildung 46) resultieren.

#### 4.10.3 Das Funktionennetz – die Nutzungsfunktionsflussstruktursicht

Das Funktionennetz – die Funktionenflussstruktursicht – ist die Funktionenstruktursicht mit der höchsten darstellbaren semantischen Dichte im Vergleich zum Funktionenbaum und zum Funktionsgraphen. Hier können neben Nutzungsfunktionen ebenso Nutzer, Produktfunktionen, Funktionenobjekte und Funktionenkontextobjekte modelliert werden. Dementsprechend vielfältig sind die Beziehungsarten, die in dieser Sicht dargestellt werden können: Ein-/Ausgabebeziehungen, Steuerungsbeziehungen, Realisierungsbeziehungen und Kontextbeziehungen.

Das Bezugssystem der Nutzungsfunktionen ist das Umgebungssystem der Nutzer. (von Both, 2006, S. 119) Demzufolge ist es essentiell, dass Nutzungsfunktionen und deren Beziehungen mit den Nutzern im Funktionsmodell aufgenommen werden können. Scholz stellt fest, dass eine Nutzungsfunktion zu einer bestimmten Zeit an einem bestimmten Ort von einem bestimmten Nutzer ausgeführt wird. (Scholz, 1984, S. 66)

Das Funktionennetz ermöglicht die geforderte integrierte Modellierung der Nutzungsfunktionen mit ihrem Nutzerkontext und bildet die Beziehungen zwischen diesen ab. Im Funktionennetz kann dargestellt werden, welcher Nutzer zu welcher Zeit und in welchem Funktionenbereich welche Nutzungsfunktion ausführt (s. Kapitel 4.5, 4.7.1, 4.9.1 und 4.11).

Eine weitere Anforderung an die Funktionenmodellierung in der Industrieplanung ist die Abbildung von Austauschbeziehungen zwischen Nutzungsfunktionen – s. (Scholz, 1984, S. 56), (Schönfeld, 1992, S. 17), (Baumann, 1990, S. 51), (von Both, 2006, S. 109) und andere. Austauschobjekte können z.B. Produkte, Energie, Information sein. (Scholz, 1984, S. 32) Die Funktionenflussstruktursicht ermöglicht eine detaillierte Darstellung der Austauschbeziehungen, die mit anderen Funktionenstruktursichten nicht abgebildet werden kann. Für weitere Informationen s. Kapitel 4.9.2.

Ferner dient das Funktionennetz zur Verknüpfung der Nutzungsfunktionen mit den Funktionenbereichen, welche diese Funktionen aufnehmen. Dies geschieht mittels Realisierungsbeziehungen, die in Kapitel 4.9.5 im Detail behandelt werden.

Nicht zuletzt kann die Funktionenflussstruktursicht für die funktionale, methodische Analyse und Evaluierung von Entwürfen benutzt werden. Dadurch, dass Nutzungsfunktionen mit einer formalen Bezeichnung versehen werden können, und die Beziehungen zwischen ihnen und den anderen Entwurfsobjekten eine definierte Semantik besitzen, kann diese Analyse durch entsprechende Algorithmen bzw. durch Regelbasen automatisiert werden.

Beispiele für solche Analysen wären automatische, funktionenbasierte Konsistenzanalysen der Teilmodelle, automatische Identifikation von fehlenden oder fehlerhaften Nutzungsfunktionen, Produktfunktionen, Realisierungsobjekte oder andere Entwurfsobjekte.

Solche Analysen können bei Änderungen der betroffenen Teilmodelle automatisch ausgeführt werden, um auf dieser Weise ein funktionenbasiertes Sicherheitsnetz für den Entwurf weiterer architektonischer Teilmodelle zu spannen. Dieses kann sicherstellen, dass bei aller schöpferischen und künstlerischen Freiheit des architektonischen Entwerfens, bei festgestellter funktionaler Inkonsistenz automatisierte Warnungen ausgegeben werden, mit deren Hilfe der Architekt informierte Entwurfsentscheidungen treffen kann.

Die in der Funktionenflussstruktursicht vernetzten Entwurfsobjekte und deren Wechselwirkungen – Nutzer, Zeiten, Funktionenbereiche, Stoff-/Energie- und Informationen-

flüsse, Prioritäten von Austauschbeziehungen, Realisierungs- und Steuerungsbeziehungen und Funktionenkontext – dienen als semantische, methodische Grundlage zur Entwicklung der Struktur der Funktionenbereiche.

Laut den Anforderungen aus Kapitel 3.2 muss das Funktionennetz der Nutzungsfunktionen mit der Funktionenflussstruktursicht der Produktfunktionen kohärent (kompatibel) sein, um die komplexen Wechselwirkungen zwischen diesen Teilmodellen abbilden zu können.

Da in dieser Arbeit die Methodik von Langlotz zur Modellierung von Produktfunktionen verwendet wird, die ihrerseits auf Funktionenmodellierungsansätzen von (Roth, Konstruieren mit Konstruktionskatalogen: Band 1: Konstruktionslehre, 2000), (Pahl & Beitz, 1993), (Benz, 1990), (Huber, 1994) aufbaut, und für die Modellierung von Allgemeinen, Kanonischen und Speziellen Funktionen verwendet werden kann (s. (Huang, 2002, S. 96-103)), dient die Funktionenflussstruktursicht von Langlotz als Referenzmodell für die Konzipierung des Funktionennetzes der Nutzungsfunktionen. Dies betrifft notwendigerweise sowohl das Konzeptmodell, als auch die graphische Notation des Nutzungsfunktionennetzes.

Nutzungsfunktionenstrukturen stellen aber ihre eigenen Anforderungen an Konzeptmodell und Notation, so dass bestimmte Weiterentwicklungen und Änderungen notwendig sind. Manche der Erweiterungen des Konzeptmodells wurden bereits in den vorherigen Kapiteln erwähnt – die Einführung von Nutzern, Zeitkontexte, Wirkungen, Forderungen, Funktionenbereiche und ihre entsprechenden Beziehungsarten. Ein weiteres Beispiel ist die neuartige Beziehung zwischen Funktionen – die teleologische Beziehung zwischen Produkt- und Nutzungsfunktionen, die im Kapitel 4.9.6 behandelt wurde.

So wie das Konzeptmodell benötigt auch die Notation des Funktionennetzes Weiterentwicklungen und Änderungen. Neben der offensichtlichen Anforderung, die für die Nutzungsfunktionenstruktursicht spezifischen, neu eingeführten Entwurfsobjekte und deren Beziehungen darzustellen, gibt es auch weitere Anforderungen, die berücksichtigt werden sollen. So belegen z.B. mehrere Quellen die Verwendung einer verhältnismäßig einfachen und kompakten Darstellung der Struktur der Nutzungsfunktionen, die sich deutlich von der aufwändigeren Darstellung der typischen Flussstrukturen aus der Mechatronik unterscheidet. Beispiele hierfür finden sich in (Steinmann, 1997, S. 121), (Schönfeld, 1992, S. 17), (Bielefeld & El Khouli, 2011, S. 43), (Krebs, 2014) und andere.

Nichtsdestotrotz ist es aber notwendig, eine Vielzahl von Entwurfsobjekten und Beziehungen darstellen zu können, um die komplexe Semantik eines verknüpften Funktionennetzes korrekt abbilden und dessen Rechnerverarbeitbarkeit sicherstellen zu können. Der Konflikt dieser konkurrierenden Anforderungen kann aufgelöst werden, indem für die verschiedenen Anforderungen entsprechende Darstellungsformen bzw. Darstellungsmodi der Nutzungsfunktionenflussstruktursicht eingeführt werden – im Gegensatz zur Notation der Produktfunktionen (s. (Langlotz, 2000, S. 134)).

#### 4.10.3.1 Detaildarstellung

Die Entwicklung von verschiedenen Darstellungsformen der Funktionenstrukturen spielt eine wichtige Rolle für die multiskalierbare Funktionenmodellierung in der Industrieplanung und ist ein wichtiger Gegenstand dieser Arbeit. Die Detaildarstellung dient zur Abbildung eines möglichst vollständigen, semantischen Inhalts der Nutzungsfunktionsflussstruktursicht (s. Abbildung 47 für Darstellung einer generischen Nutzungsfunktionsstruktur). Im Folgenden werden die Darstellungsformen der verschiedenen Entwurfsobjekte festgelegt:

- Funktionen werden in ihrer maximalen oder benutzerdefinierten Darstellungsform gezeigt. Es können neben Nutzungsfunktionen auch Produktfunktionen dargestellt werden, die in Austauschbeziehungen mit den Nutzungsfunktionen stehen.
- Funktionenflussobjekte – Ein- und Ausgabeobjekte – werden in ihrer maximalen oder benutzerdefinierten Darstellungsform gezeigt. Die entsprechenden Beziehungen können, wie in Kapitel 4.9.2 beschrieben, priorisiert werden.
- Steuerungs- und Realisierungsobjekte werden in ihrer maximalen oder benutzerdefinierten Darstellungsform gezeigt.
- Kontextobjekte werden in ihrer maximalen oder benutzerdefinierten Darstellungsform dargestellt.
- Nutzer werden ebenfalls dargestellt.

Abbildung 47 zeigt eine Nutzungsfunktionsflussstruktursicht in der Detaildarstellung. Dort sind zwei Nutzungsfunktionen – „Nutzungsfunktion a“ und „Nutzungsfunktion b“ mit ihren Austauschobjekten (Ein- / Ausgabeobjekte) dargestellt.

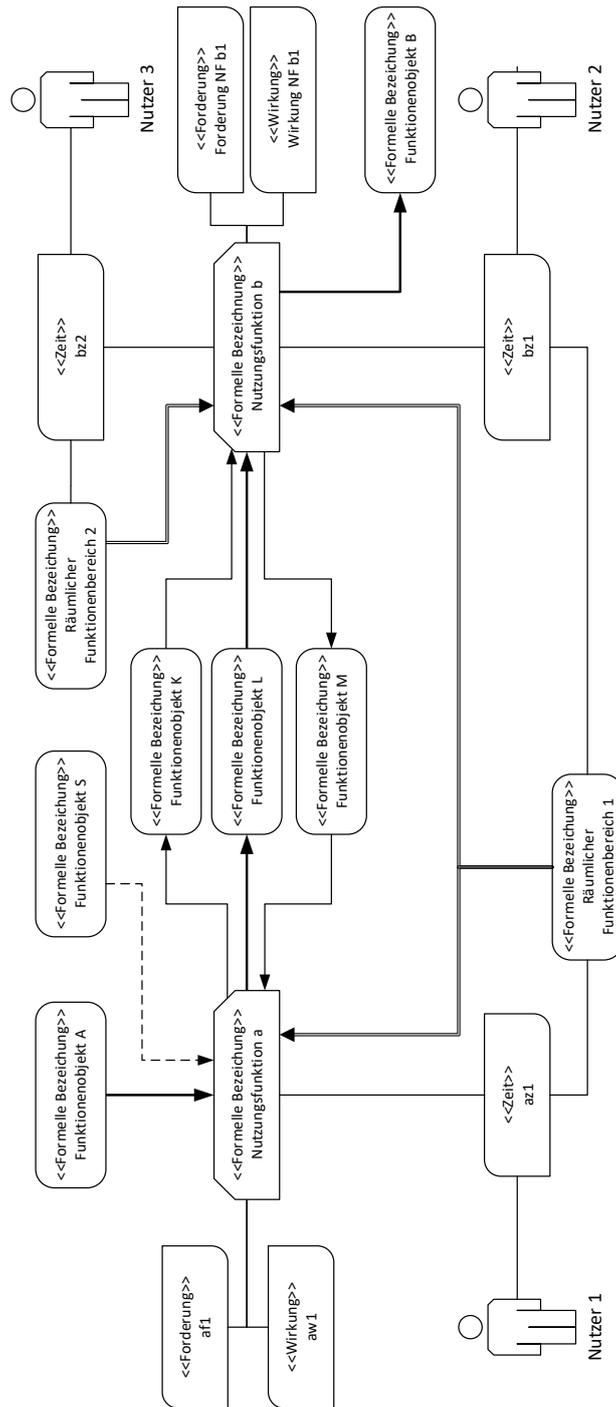


Abbildung 47: Eine generische Nutzungsfunktionsstruktursicht - Detaildarstellung

Neben diesen werden in Abbildung 47 eine Reihe weiterer Entwurfsobjekte gezeigt:

- Nutzer
- Realisierungsobjekte – Funktionsbereiche
- Steuerungsobjekte
- Kontextobjekte – Zeitkontext, Forderungen und Wirkungen

Diese tragen dazu bei, einen möglichst vollständigen Umfang der Semantik der Nutzungsfunktionsstruktur graphisch darzustellen. D.h. an dieser Darstellungsform kann abgelesen werden:

- Welcher Nutzer zu welcher Zeit welche Funktion in welchem Funktionenbereich ausführt.
- Welche Forderungen eine Nutzungsfunktion an ihre Umgebung stellt.
- Welche Wirkungen eine Nutzungsfunktion auf ihre Umgebung ausübt.
- Welche Realisierungsobjekt(e) benötigt werden, um die Nutzungsfunktion zu realisieren, bzw. welche Funktionenbereiche nehmen die Nutzungsfunktion auf.
- Welche Steuerungsobjekte den Funktionenfluss beeinflussen.

#### 4.10.3.2 Übersichtsdarstellung

Die Übersichtsdarstellung, die hier entwickelt und eingeführt wird, ist eine wesentlich kompaktere Darstellungsform als die Detaildarstellung. Sie kann zur Darstellung einer konzeptuellen, nutzungstechnologischen Sicht des zu planenden Industriebauwerks dienen. Die vereinfachte Darstellung eignet sich gut auch zum manuellen Entwerfen von Funktionenflussdiagrammen, insbesondere in den frühen, kreativen Konzeptphasen des funktionalen Entwurfs. Beispiele für konzeptuelle, nutzungstechnologische Sichten sind in den Kapiteln 5.6.1, 5.6.3 und 5.7.4.5 zu finden.

Hier können nur ausgewählte semantische Inhalte des Funktionennetzes abgebildet werden. Diese entsprechen in ihren informationstechnischen Grundzügen den in Kapitel 4.10.3 angesprochenen Funktionendarstellungen. Es werden die Nutzungsfunktionen und ihre Flussgrößen abgebildet (s. Abbildung 48):

- Die Nutzungsfunktionen werden in ihrer minimalen Darstellungsform gezeigt.
- Die Austauschbeziehungen der NF werden in ihrer minimalen Darstellung gezeigt. Das trägt zur Kompaktheit und Übersichtlichkeit der Funktionenstruktursicht bei – nur Funktionen werden als flächige, graphische Objekte dargestellt. Die Beziehungslinien zwischen ihnen werden auf ein graphisches Minimum reduziert – eine Verbindungslinie mit den freien Bezeichnungen der Funktionenobjekte.
- Die Prioritäten der Austauschbeziehungen werden durch die Strichstärke und ggf. durch die Schriftart des Flussobjekts dargestellt. Sollten mehrere Funktionenobjekte zwischen zwei Funktionen ausgetauscht werden, werden die Objekt(e), welche zur höheren Priorisierung der Beziehung führen, mit fetter Schrift gekennzeichnet.



Abbildung 48: Eine generische Nutzungsfunktionsstruktursicht – Übersichtsdarstellung

Abbildung 48 zeigt dieselbe Nutzungsfunktionsstruktur wie in Abbildung 47. Der Unterschied ist leicht zu erkennen – die Übersichtsdarstellung aus Abbildung 48 ist wesentlich

kompakter und übersichtlicher, was von Vorteil bei der Erfassung und Bearbeitung komplexerer Strukturen sein kann. Der Preis dafür ist der wesentlich geringere Informationsgehalt, der nur in der Detaildarstellung abgebildet werden kann. Der bedarfsorientierte Wechsel zwischen beiden Darstellungsformen kann ein effizientes und effektives Arbeiten mit inhaltsreichen, komplexen Nutzungsfunktionenstrukturen unterstützen.

#### 4.10.3.3 Benutzerdefinierte Darstellungsformen

Es ist davon auszugehen, dass zwischen diesen beiden Extremen (Übersichts- und Detaildarstellung), auch Mischformen sinnvoll sind. Benutzerdefinierte Darstellungsformen ermöglichen dem Nutzer, selber festzulegen, welche Entwurfsobjekte in welcher Darstellungsform gezeigt werden sollen. Beispiele für solche Sichten sind unter anderem in den Kapiteln 5.6.1, 5.6.3 und 5.7.4.5 zu finden.

#### 4.10.3.4 Funktionengruppierungen

Die Zusammenfassung von Funktionen zu Funktionengruppierungen ist ein weiteres Mittel zur Reduktion der Komplexität und zur Verbesserung der Handhabung von Nutzungsfunktionenstrukturen. Die Gruppierung kann mehrere Aggregationsebenen umfassen und kann daher eine beliebig tiefe Verschachtelung der Funktionengruppierungen ermöglichen. Darüber hinaus können mehrere Funktionengruppierungen, zusammengestellt nach verschiedenen Kriterien, parallel angelegt werden. (Langlotz, 2000, S. 106-107)

Dies ermöglicht die Bildung verschiedener Ansichten auf die Funktionenstruktur. Dabei ist die Aufgliederung einer Gesamtfunktion in Teilfunktionen nur eine der Möglichkeiten. Weitere Beispiele sind komponentenbasierte, aufgabenbasierte, arbeitstechnisch basierte und weitere, zweckdienliche Ansichten. (Langlotz, 2000, S. 106-107)

Die Bildung von Funktionenhierarchien kann als gemeinsame Komponente der Funktionenbäume und Funktionenflussstruktursichten betrachtet werden – eine Flussstruktur mit entsprechenden Gruppierungen lässt sich als ein Funktionenbaum darstellen, wobei die Gruppierung mit der höchsten Gruppierungsebene die Wurzel darstellt, und die Blätter des resultierenden Funktionsbaums die Nutzungsfunktionen mit der Gruppierungsebene 0 (Null) sind.

Der Unterschied zwischen einer hierarchischen Funktionengruppierungsansicht und einem Funktionenbaum ist erstens, dass der Funktionenbaum streng nach dem Aggregationsprinzip der Funktionen aufgebaut wird. D.h. das Kriterium zur Hierarchiebildung sind ausschließlich die Teile-Ganzes-Beziehungen zwischen den Funktionen. An zweiter Stelle besteht der Unterschied darin, dass alle Entwurfsobjekte in einem Funktionenbaum nur Funktionen sind. Eine hierarchische Funktionengruppierungsansicht besteht dagegen aus Funktionen und Funktionengruppierungen.

Die Funktionengruppierungen bauen auf die Gruppierungskonzepte von Langlotz auf und erweitern sie im Sinne der Modellierung von Nutzungsfunktionenstrukturen. (Langlotz, 2000, S. 106 ff) Das in Abbildung 49, Abbildung 113 und Abbildung 114 dargestellte Beispiel veranschaulicht die Funktionengruppierungsprinzipien.

Zwei verschiedene, parallele Fälle von Funktionengruppierungen werden in Abbildung 49 an einer generischen Nutzungsfunktionsflussstruktur durchgeführt. Die Gruppierungen sind durch gestrichelte bzw. punktierte Linien im Funktionendiagramm gekennzeichnet. Die Namen der Gruppierungen sind innerhalb der Umrisse der jeweiligen Gruppierung angegeben. Neben Funktionen sind im Diagramm auch Funktionenobjekte, Kontextobjekte und Nutzer dargestellt.

Die hierarchischen Diagramme aus Abbildung 113 und Abbildung 114 zeigen die jeweiligen resultierenden Hierarchien aus Funktionen und Funktionengruppierungen. Die Notation der Funktionengruppierungen unterscheidet sich von der Notation der Funktionen durch die Schattierung der Kästchen der Funktionengruppierungen. Die Namen der Funktionengruppierungen bleiben unverändert in der hierarchischen Darstellung – sie werden von der Flussstruktur übernommen.

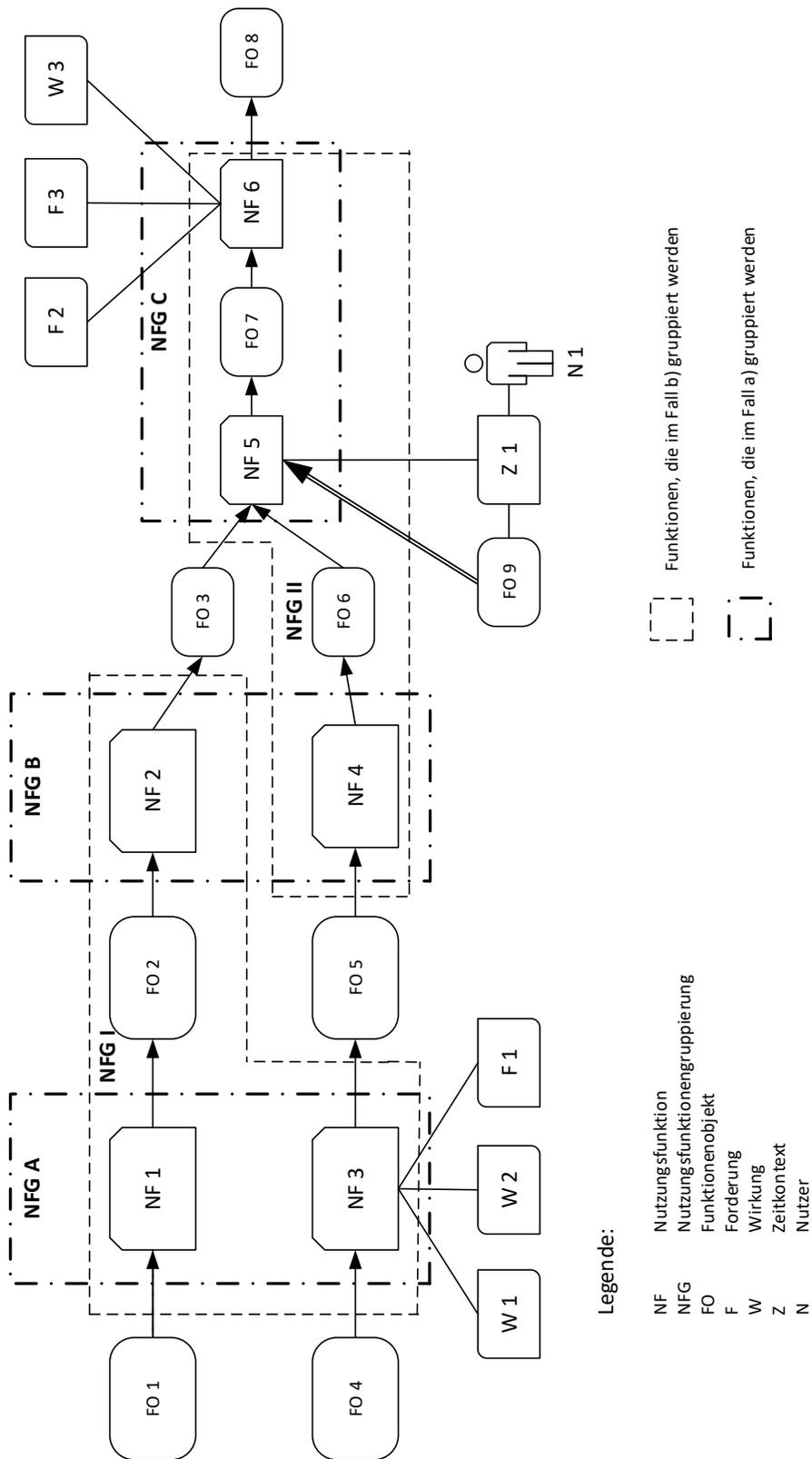


Abbildung 49: Eine generische Nutzungsfunktionsflussstruktursicht mit Funktionengruppierungen (in Anlehnung an Langlotz (Langlotz, 2000, S. 106-107))

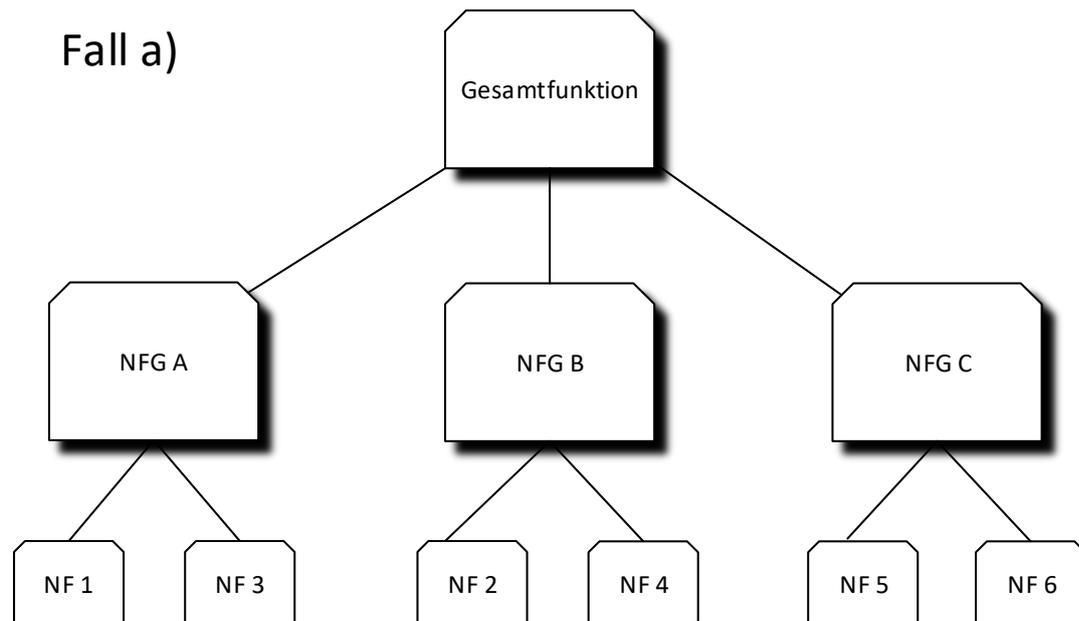


Abbildung 50: Hierarchie der Funktionen und Funktionengruppen im Fall a), in Anlehnung an (Langlotz, 2000, S. 106-107)

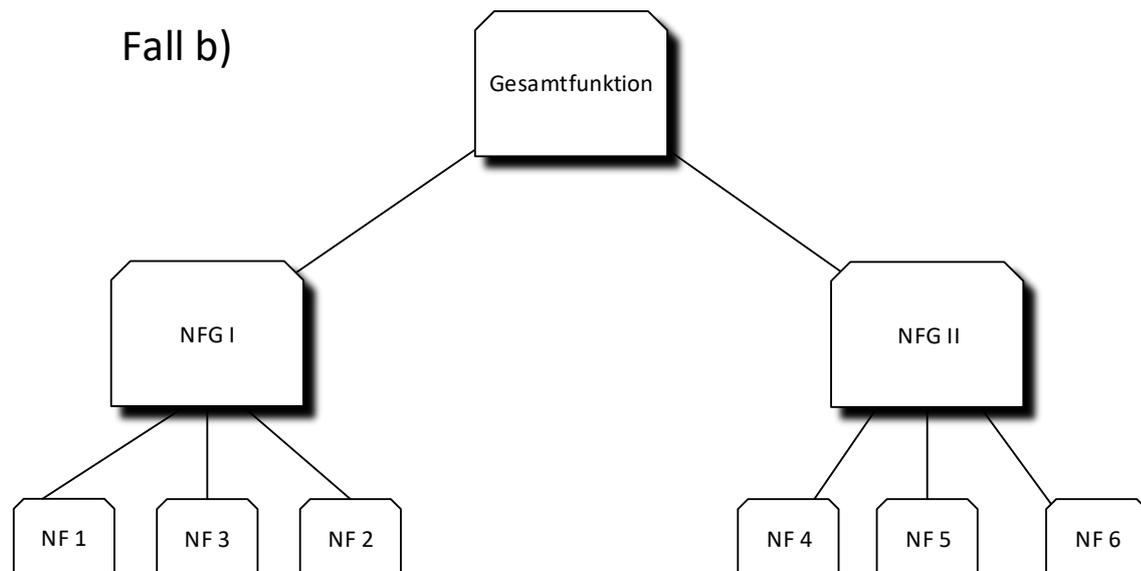


Abbildung 51: Hierarchie der Funktionen und Funktionengruppen im Fall b) (in Anlehnung an Langlotz (Langlotz, 2000, S. 106-107))

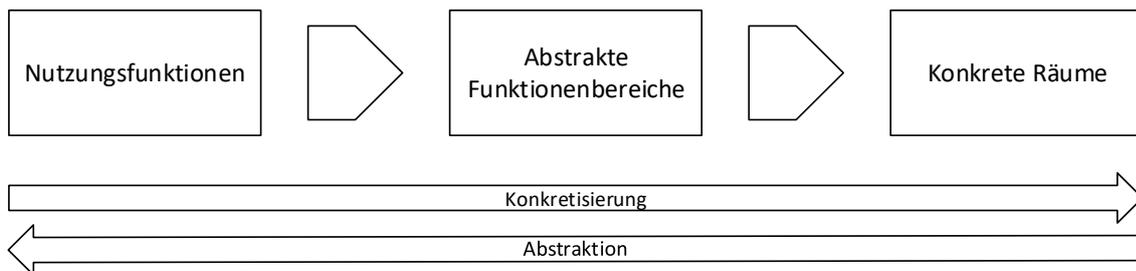
## 4.11 Struktur der abstrakten Funktionenbereiche

Während Nutzungsfunktionen sich ausschließlich auf abstrakte, intentionale Aspekte beziehen und keine auf Funktionenflächen oder auf Beziehungen zwischen ihnen bezogenen Merkmale besitzen, ist das Teilmodell der räumlichen Funktionenbereiche für die Abbildung solcher Aspekte zuständig. Die abstrakten Funktionenbereiche sind abstrakte räumliche Körper ohne konkrete geometrische Ausprägung, Form oder räumliche Lage. (Scholz,

1984, S. 27) Sie können Nutzungsfunktionen aufnehmen und sind für die Ausführung dieser Funktionen zwingend erforderlich.

Sie sind von den Räumen zu unterscheiden, die sowohl eine konkrete geometrische Ausprägung, als auch eine räumliche Ausdehnung und eine konkrete räumliche Lage besitzen können. Bei einem konkreten Raum kann darüber hinaus im Gegensatz zu einem räumlichen Funktionenbereich ein Bezug zu elementbezogener Gebäudebeschreibung hergestellt werden. (von Both, 2006, S. 116)

Demzufolge stellen die räumlichen Funktionenbereiche als Entwurfsobjekte ein Bindeglied zwischen den Teilmodellen der Nutzungsfunktionen und der Räume dar. (von Both, 2006, S. 116) Die Schritte von Nutzungsfunktionen zu räumlichen Funktionenbereiche und weiterhin zu Räumen sind Konkretisierungsschritte vom Abstrakten – Nutzungsfunktionen – zum Konkreten – Räume (s. Abbildung 52). Von Both schreibt: „Die Funktionsbereiche, sowie deren funktionale Vernetzungen werden über die Ausbildung topologischer Relationen als maßstabslose Anordnungsüberlegungen der relevanten Nutzungsfunktionen erarbeitet.“ (von Both, 2006, S. 118)



**Abbildung 52: Räumliche Funktionenbereiche als Bindeglied zwischen NF und Räume, in Anlehnung an (von Both, 2006, S. 116))**

Für die Entwicklung konkreter Räume und Raumstrukturen werden im architektonischen Entwurf neben den funktionellen Gesichtspunkten auch konstruktive, gestalterische, kontextbezogene und andere Gesichtspunkte herangezogen (siehe (von Both, 2006, S. 117), (Scholz, 1984, S. 27), (Bielefeld & El Khouli, 2011, S. 8) und andere Autoren). Da sich diese Arbeit ausschließlich auf die Betrachtung von funktionellen Aspekten fokussiert, legen die abstrakte Funktionenbereiche die Grenze des Betrachtungsgegenstands fest – sie sind die konkretesten Entwurfsobjekte, die hier behandelt werden.

Aufgrund der obigen Ausführungen folgt, dass die abstrakten Funktionenbereiche als Schnittstelle zwischen den abstrakten Nutzungsfunktionen und den konkreten Räumen, bzw. zwischen der funktionellen Konzeptplanung und den weiteren Planungsphasen dienen können. Die Funktionenbereiche und ihre Beziehungen bilden eine Struktur. Gemeinsam mit der Funktionenstruktur liefert die Struktur der Funktionenbereiche eine Grundlage, auf welcher der Architekt mit seinem Wissen und Erfahrung informierte Entscheidungen über die weiteren Entwurfsschritte treffen kann. Darüber hinaus kann bei geeigneter Softwareunterstützung eine Rückkopplung in Form einer automatisierten Konsistenzprüfung nachgelagerter Teilmodelle auf funktionellen Prinzipien realisiert werden.

Ausgehend von Funktionenbereichen, die zu einer zweckbestimmten Struktur auf Grundlage von funktionalen Betrachtungen bzw. einer Nutzungsfunktionsstruktur verknüpft worden sind, können wiederverwendbare Lösungsmuster entwickelt werden. In diesem Zusammenhang legt das entsprechende Funktionenmuster das Problem und das Funktionenbereichsmuster – die Lösung bzw. das Lösungsprinzip fest. In diesem Sinne kann eine Parallele zwischen Funktionen und Lösungsprinzipien in der Mechatronik und Funktionen und Funktionenbereichsmuster in der Architektur gezogen werden.

Die abstrakten Funktionenbereiche und ihre Beziehungen untereinander bilden eine Struktur, die informationstechnisch als Graph bezeichnet wird. Der Graph besteht aus Knoten (Funktionenbereiche) und Kanten (Beziehungen). Jeder Funktionenbereich kann mit mehreren anderen Funktionenbereichen verknüpft werden, deswegen haben die Beziehungen die Multiplizität m:n (many-to-many).

Die abstrakten Funktionenbereiche können neben ihren formellen und freien Bezeichnungen noch weitere Attribute haben. Ein Beispiel wäre die Flächengröße. Dabei sollte aber nicht außer Acht gelassen werden, dass Funktionenbereiche keine Lageattribute und keine geometrische Ausprägung haben. Die Struktur der räumlichen Funktionenbereiche ist daher als einen abstrakten Graphen zu interpretieren.

Die Beziehungen zwischen den Funktionenbereichen können unterschiedlich ausgeprägt sein. Verschiedene Autoren benutzen unterschiedliche Klassifizierungen und Bezeichnungen dieser Beziehungen. Krebs identifiziert z.B. folgende Arten von Funktionenbereichsbeziehungen, die unterschiedliche Intensitätsstufen der räumlichen Beziehung darstellen: (Krebs, 2014, S. 7)

- Abhängigkeit
- Wegebeziehung
- Räumliche Nähe
- Räumliche Integration

Schönfeld benutzt in den Zuordnungsmatrizen der Nutzungsfunktionen, die in seiner Methodik als Tätigkeiten bezeichnet werden, lediglich zwei Beziehungsarten: (Schönfeld, 1992, S. 48)

- Räumliche Verbindung
- Räumliche Nähe

Daraus wird ersichtlich, dass für derartige Beziehungen in der Forschung durchaus unterschiedliche Definitionen üblich sind, die sich zum Teil auf unterschiedliche Begriffskategorien beziehen – (funktionale) „Abhängigkeit“ ist eine funktionale Kategorie und „räumliche Nähe“ ist eine Räumliche. Funktionenbereiche werden in dieser Arbeit lediglich als abstrakte Realisierungsobjekte von Funktionen aufgefasst. Aus diesem Grund werden sie auch mit einem minimalen Satz von Attributen ausgestattet – sie besitzen kein Lageattribut und keine geometrische Ausprägung (siehe weiter oben).

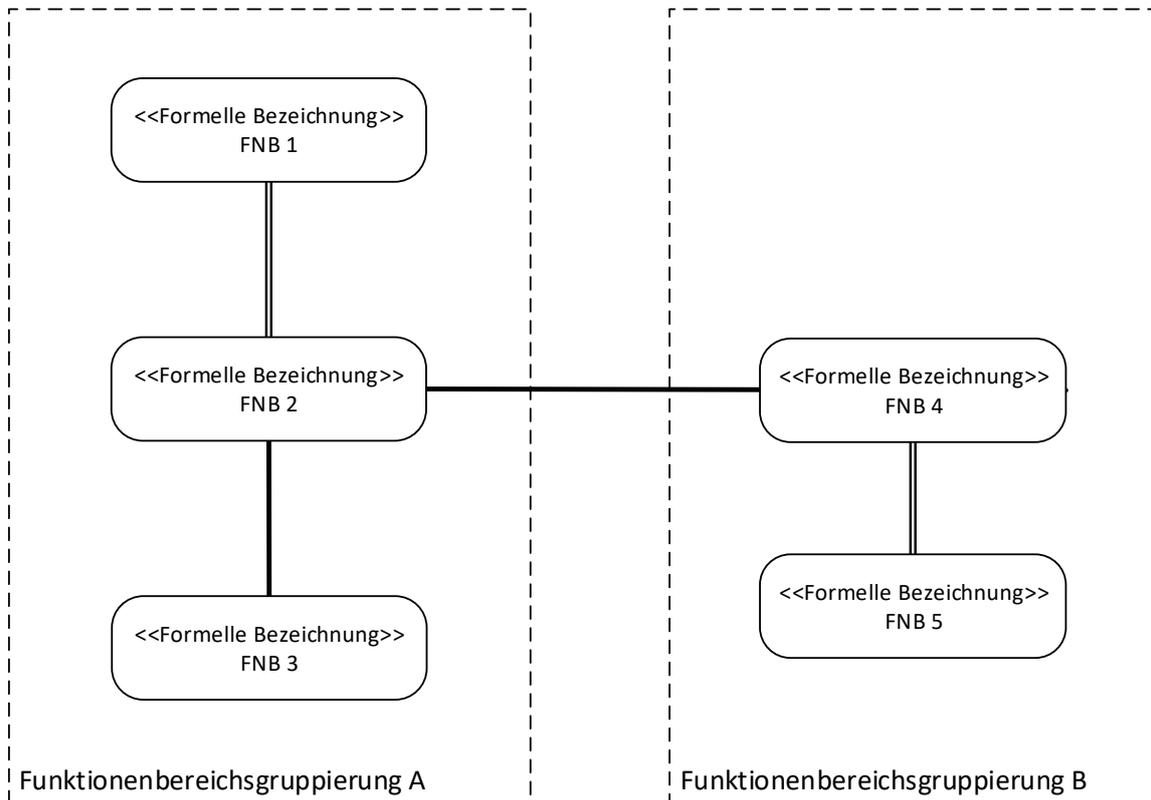
Deswegen werden die Beziehungen zwischen den abstrakten Funktionenbereichen auf einer anderen Grundlage definiert. Da das Teilmodell der abstrakten Funktionenbereiche die Schnittstelle zwischen den Teilmodellen der Funktionen und der konkreten Räume darstellt, ist es sinnvoll die Frage zu stellen, welche Beziehungsarten für die benachbarten Teilmodelle relevant sind. Aus dieser Perspektive ergeben sich zwei Beziehungsarten der abstrakten Funktionenbereiche:

- Räumliche Integration – beide Funktionenbereiche sollen in demselben Raum zusammengefasst werden.
- Räumliche Verbindung – beide Funktionenbereiche sind räumlich getrennt und benötigen eine räumliche Verbindung.

Die Relevanz dieser Beziehungsarten für das Teilmodell der konkreten Räume liegt auf der Hand – bereits mit Hilfe des abstrakten Modells der Funktionenbereiche werden Überlegungen zur räumlichen Zusammenfassung oder Trennung von Funktionen explizit gemacht, die eine Entscheidungsgrundlage für die Entwicklung der konkreten Räume sein können.

Die oben genannten Beziehungsarten sind aber auch für das Teilmodell der Nutzungsfunktionen von Bedeutung: Sie können die bereits von Scholz identifizierten Sekundärfunktionen (Erschließungsfunktionen) implizieren (siehe Kapitel 4.3) und haben somit eine sekundäre Auswirkung auf das Modell der Nutzungsfunktionen. Mehr Details über Sekundärfunktionen sind in den Kapiteln 4.9.6 und 4.10.2 zu finden.

Abbildung 53 zeigt eine generische Struktur abstrakter Funktionenbereiche. Dargestellt sind fünf Funktionenbereiche – FNB 1 bis FNB 5. Diese sind mittels Überlappung, räumlicher Integration und räumlicher Verbindung miteinander verbunden. FNB 1 bis FNB 3 sind in der abstrakten Funktionenbereichsgruppierung A zusammengefasst. Die abstrakte Funktionenbereichsgruppierung B enthält zwei Funktionenbereiche – FNB 4 und FNB 5. Funktionenbereiche und Funktionenbereichsgruppierungen werden in dieser Struktur gleichbehandelt und können direkt miteinander verknüpft werden.



Legende:

Räumliche Integration 

Räumliche Verbindung 

Abbildung 53: Eine generische Struktur abstrakter Funktionsbereiche

Eine Gruppierung kann ähnlich wie bei den Nutzungsfunktionen nach verschiedenen Kriterien durchgeführt werden und ist ein Hilfsmittel zur Strukturierung der abstrakten Funktionsbereiche. Gruppierungen von Funktionsbereichen können wie die Funktionsbereiche selbst Beziehungen der räumlichen Integration und räumlichen Verbindung zu anderen Gruppierungen oder Funktionsbereichen haben.

## 4.12 Informationsmodell zur Funktionenmodellierung architektonischer Systeme

Das Nutzungsfunktionsmodell, welches in dieser Arbeit entwickelt wurde, enthält neben dem systematischen Vorgehen zur Funktionenmodellierung architektonischer Systeme und der Modellierungsnotation auch ein Informationsmodell, welches in diesem Kapitel vorgestellt wird.

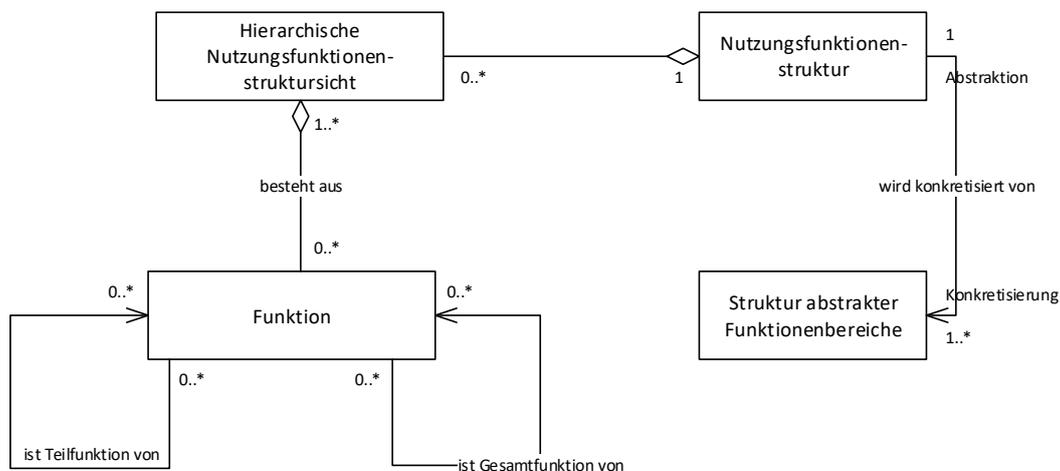
Das Informationsmodell stellt die informationstechnischen Verknüpfungen und Eigenschaften der Modellelemente dar. Während die in den vorigen Kapiteln beschriebenen

Strukturdiagramme Instanzen von Entwurfsobjekten zeigen, werden im Informationsmodell die Klassen dieser Objekte und deren Beziehungen abgebildet. Das Informationsmodell ist zur besseren Übersichtlichkeit in mehreren Klassendiagrammen aufgeteilt, entsprechend der in den Kapiteln 4.10.1 bis 4.11 untersuchten Sichten und Strukturen.

Die verwendete Notation ist die objektorientierte Modellierungssprache „Unified Modelling Language“ (UML, siehe (Fowler & Scott, 2000)). Deswegen während alle abgebildeten Klassen zu einem gemeinsamen Modell gehören, können sie noch weitere Beziehungen besitzen, die nicht explizit dargestellt sind. Dieses Modell kann als Ausgangspunkt für eine softwaretechnische Umsetzung des Nutzungsfunktionsmodells und zur Unterstützung eines besseren Verständnisses des Nutzungsfunktionsmodells dienen.

#### 4.12.1 Informationsmodell der hierarchischen Nutzungsfunktionsstruktursicht

Das Informationsmodell der hierarchischen Nutzungsfunktionsstruktursicht (siehe Abbildung 54) bildet die hierarchischen (Teile-Ganzes-) Beziehungen zwischen Funktionen ab. Diese wurde im Kapitel 4.10.1 im Detail beschrieben. Wie Abbildung 54 zu entnehmen ist, hat diese Nutzungsfunktionsstruktursicht die einfachsten Beziehungen im Vergleich zu der teleologischen Nutzungsfunktionsstruktursicht und zur Nutzungsfunktionsflussstruktursicht.



**Abbildung 54: Informationsmodell der hierarchischen Nutzungsfunktionsstruktursicht, in Anlehnung an (Langlotz, 2000, p. 148)**

Tabelle 6 zeigt die Eigenschaften der hierarchischen Nutzungsfunktionsstruktursicht, die im Folgenden beschrieben werden.

- **Bezeichnung:** Bezeichnung der hierarchischen Nutzungsfunktionsstruktursicht als Freitext
- **Versionsnummer:** Fortlaufende Nummer, die beim Anlegen einer neuen Version angegeben wird. Sie besteht aus einer Kombination aus Zahlen und Buchstaben.
- **Variantennummer:** Fortlaufende Nummer, die beim Anlegen einer neuen Variante vergeben wird. Sie besteht aus einer Kombination aus Zahlen und Buchstaben.

- Bewertung Variante: Ergebnis aus der Evaluierung und dem Vergleich mit anderen Varianten.
- Beschreibung: Verknüpfung zu einem ausführlicheren Kommentartext

Tabelle 6: Eigenschaften der hierarchischen Nutzungsfunktionsstruktursicht, in Anlehnung an (Langlotz, 2000)

Eigenschaft	Typ
Bezeichnung	Text
Versionsnummer	Text
Variantennummer	Text
Bewertung der Variante	Zahl
Beschreibung	Verknüpfung

4.12.2 Informationsmodell der teleologischen Nutzungsfunktionsstruktur

Das Informationsmodell der teleologischen Nutzungsfunktionsstruktursicht (siehe Abbildung 55) bildet die Mittel-Zweck-Beziehungen zwischen Funktionen ab. Diese wurde im Kapitel 4.10.2 im Detail beschrieben.

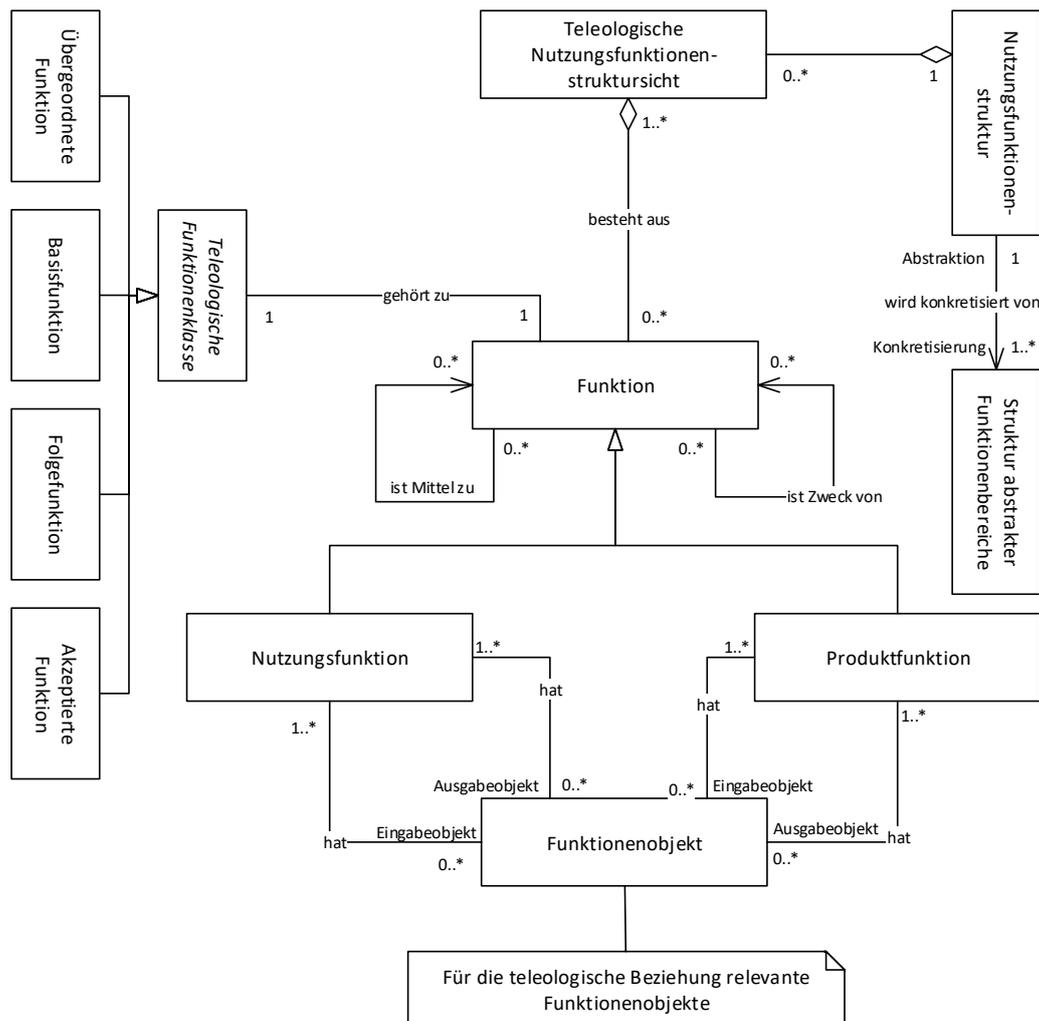


Abbildung 55: Informationsmodell der teleologischen Nutzungsfunktionsstruktursicht, in Anlehnung an (Langlotz, 2000)

Tabelle 10 zeigt die Eigenschaften der teleologischen Nutzungsfunktionenstruktursicht, die im Folgenden beschrieben werden.

- **Bezeichnung:** Bezeichnung der teleologischen Nutzungsfunktionenstruktursicht als Freitext
- **Versionsnummer:** Fortlaufende Nummer, die beim Anlegen einer neuen Version angegeben wird. Sie besteht aus einer Kombination aus Zahlen und Buchstaben.
- **Variantennummer:** Fortlaufende Nummer, die beim Anlegen einer neuen Variante vergeben wird. Sie besteht aus einer Kombination aus Zahlen und Buchstaben.
- **Bewertung Variante:** Ergebnis aus der Evaluierung und dem Vergleich mit anderen Varianten.
- **Beschreibung:** Verknüpfung zu einem ausführlicheren Kommentartext

**Tabelle 7: Eigenschaften der teleologischen Nutzungsfunktionenstruktursicht, in Anlehnung an (Langlotz, 2000)**

<i>Eigenschaft</i>	<i>Typ</i>
Bezeichnung	Text
Versionsnummer	Text
Variantennummer	Text
Bewertung der Variante	Numerischer Wert
Beschreibung	Verknüpfung

#### 4.12.3 Informationsmodell der Nutzungsfunktionenflusstuktursicht

Das Informationsmodell der Nutzungsfunktionenflusstuktursicht (siehe Abbildung 56) bildet mehrere Arten von Beziehungen zwischen Funktionen ab und ist am komplexesten im Vergleich zu der hierarchischen und teleologischen Nutzungsfunktionenstruktursichten. Diese wurde im Kapitel 4.10.3 im Detail beschrieben.

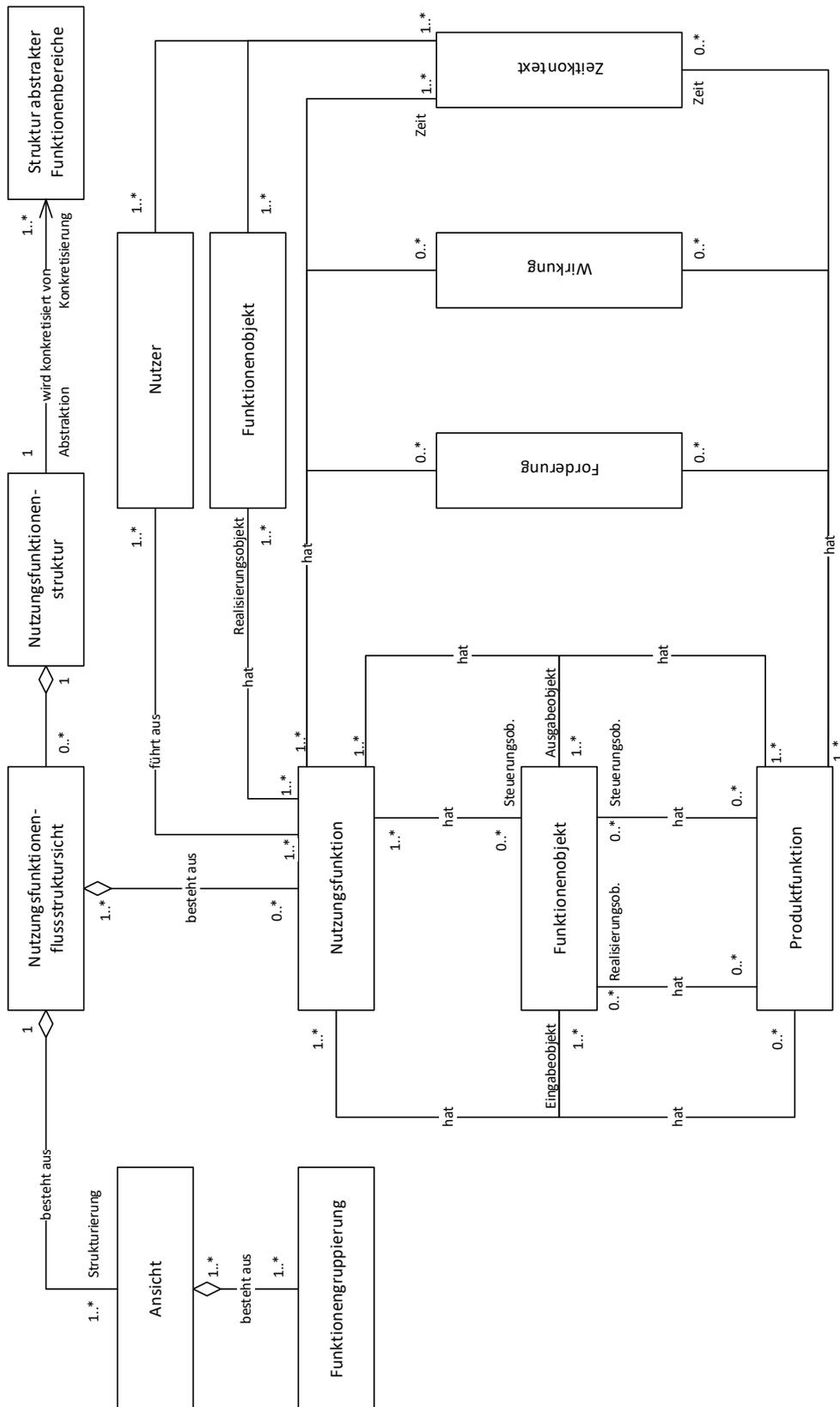


Abbildung 56: Informationsmodell der Nutzungsfunktionsflussstruktur, in Anlehnung an (Langlotz, 2000)



- Anzeigezustand: Anzeigezustand, welcher einer Menge an definierten anzeigezuständen entnommen ist.
- Versionsnummer: Fortlaufende Nummer, die beim Anlegen einer neuen Version angegeben wird. Sie besteht aus einer Kombination aus Zahlen und Buchstaben.
- Variantennummer: Eine fortlaufende Nummer, die beim Anlegen einer neuen Variante vergeben wird. Sie besteht aus einer Kombination aus Zahlen und Buchstaben.
- Bewertung Variante: Ergebnis aus der Evaluierung und dem Vergleich mit anderen Varianten.
- Beschreibung: Verknüpfung zu einem ausführlicheren Kommentartext

**Tabelle 8: Eigenschaften der Nutzungsfunktionsflussstruktursicht, in Anlehnung an (Langlotz, 2000)**

<i>Eigenschaft</i>	<i>Typ</i>
Bezeichnung	Text
Anzeigezustand	Aufzählung {Übersicht, Detail, Benutzerdefiniert}
Versionsnummer	Text
Variantennummer	Text
Bewertung der Variante	Numerischer Wert
Beschreibung	Verknüpfung

#### 4.12.4 Informationsmodell der Struktur der abstrakten Funktionenbereiche

Die Struktur der abstrakten Funktionenbereiche (siehe Kapitel 4.11) ist eine Konkretisierung der Nutzungsfunktionsstruktur. Sie kann ihrerseits als Ausgangspunkt für die Entwicklung der konkreten Raumstruktur dienen, die außerhalb des Untersuchungsbereichs dieser Arbeit liegt. Abbildung 58 zeigt das Informationsmodell der Struktur der abstrakten Funktionenbereiche.

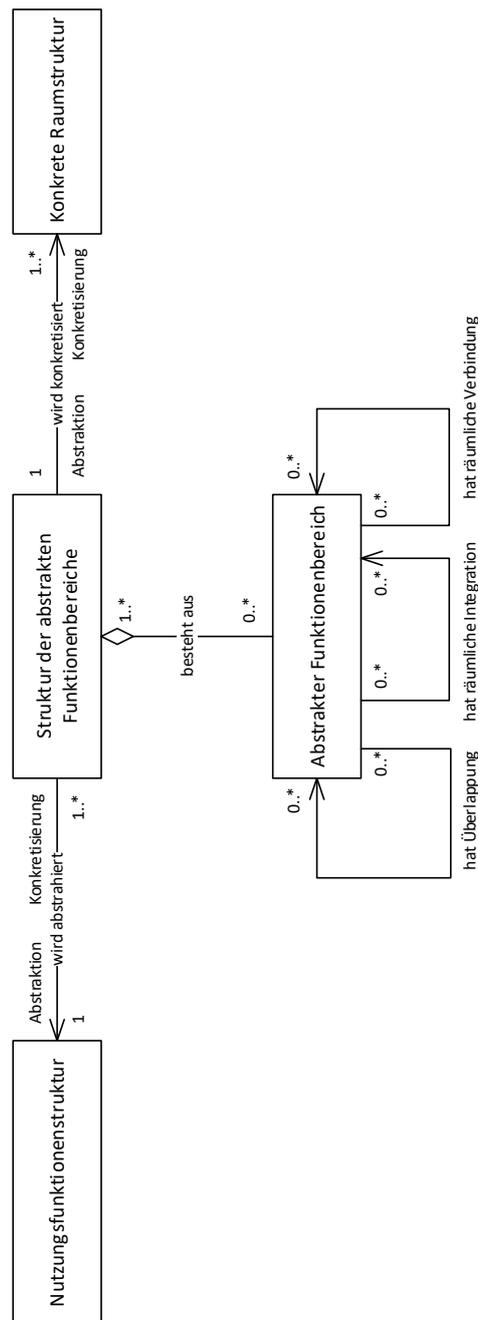


Abbildung 58: Informationsmodell der Struktur der abstrakten Funktionenbereiche

Tabelle 9 zeigt die Eigenschaften der Struktur der abstrakten Funktionenbereiche, die im Folgenden beschrieben werden.

- **Bezeichnung:** Bezeichnung der Struktur der abstrakten Funktionenbereiche als Freitext
- **Versionsnummer:** Fortlaufende Nummer, die beim Anlegen einer neuen Version angegeben wird. Sie besteht aus einer Kombination aus Zahlen und Buchstaben.
- **Variantennummer:** Eine fortlaufende Nummer, die beim Anlegen einer neuen Variante vergeben wird. Sie besteht aus einer Kombination aus Zahlen und Buchstaben.

- Bewertung Variante: Ergebnis aus der Evaluierung und dem Vergleich mit anderen Varianten.
- Beschreibung: Verknüpfung zu einem ausführlicheren Kommentartext

**Tabelle 9: Eigenschaften der Struktur der räumlichen Funktionenbereiche**

<i>Eigenschaft</i>	<i>Typ</i>
Bezeichnung	Text
Versionsnummer	Text
Variantennummer	Text
Bewertung der Variante	Numerischer Wert
Beschreibung	Verknüpfung

#### 4.12.5 Eigenschaften der Entwurfsobjekte

Die Entwurfsobjekte des Nutzungsfunktionsmodells zur Konzeptplanung architektonischer Systeme wurden in den vorigen Kapiteln auf der Ebene der Notation und auf der Ebene der Klassendiagramme des Informationsmodells untersucht. Im Folgenden werden die Eigenschaften der einzelnen Entwurfsobjektklassen beschrieben.

##### 4.12.5.1 Eigenschaften der Nutzungsfunktionen

Nutzungsfunktionen sind Tätigkeiten, die der Nutzer mit Hilfe des Objektes bzw. im Gebäude ausführen möchte. (von Both, 2006, S. 119) Die Eigenschaften der Nutzungsfunktionen werden in Kapitel 4.4.2 im Detail untersucht. Im Folgenden werden die Eigenschaften der Nutzungsfunktionen erläutert.

- **Formale Bezeichnung:** Eindeutige Bezeichnung der Funktion, die aus einer festgelegten Taxonomie ausgewählt wurde
- **Freie Bezeichnung:** Benutzerfreundlichere, erklärende Bezeichnung als Freitext
- **Position in der Hierarchie:** Eine strukturierte Nummerierung, die die Position der Nutzungsfunktion in der Funktionenhierarchie angibt. Diese kann aus Zahlen und Buchstaben bestehen.
- **Realisierungsindex:** Festlegung des Realisierungsindex, der die Position in einer teleologischen Kette angibt.
- **Eingabeobjekte:** Verknüpfungen zu den Funktionenobjekten, die als Eingangsgrößen in diese Funktion fließen und von ihr verarbeitet werden.
- **Ausgabeobjekte:** Verknüpfungen zu den Funktionenobjekten, die als Ausgangsgrößen von dieser Funktion ausgegeben werden.
- **Realisierungsobjekte:** Verknüpfungen zu den Funktionenobjekten, die diese Funktion verkörpern bzw. realisieren.
- **Nutzer:** Verknüpfungen zu den Nutzern, welche diese Funktion ausführen.
- **Zeit:** Verknüpfungen zu den Zeitkontextobjekten, die die Zeitintervalle festlegen, in welchen diese Funktion ausgeführt wird. Eine Nutzungsfunktion wird zu einer

bestimmten Zeit von einem bestimmten Nutzer in einem bestimmten Funktionsbereich ausgeführt. Daher ist der Zeitkontext essentiell für die vollständige Beschreibung einer Nutzungsfunktion.

- Forderungen: Verknüpfungen zu den Forderungen, die diese Funktion an ihre Umgebung stellt.
- Wirkungen: Verknüpfungen zu den Wirkungen, die diese Funktion auf ihre Umgebung ausübt.
- Lebensphase: Bezeichnung der Lebensphase der Funktion
- Gruppierungsebene: Eine ganze Zahl, die die hierarchische Ebene der Funktion in einer Gruppierungshierarchie angibt. Die höchste Gruppierungsebene ist 0 (Null), wachsende Zahlen bedeuten eine tiefere hierarchische Abstufung der Funktion.
- Versionsnummer: Fortlaufende Nummer, die beim Anlegen einer neuen Version angegeben wird. Sie besteht aus einer Kombination aus Zahlen und Buchstaben.
- Variantennummer: Eine fortlaufende Nummer, die beim Anlegen einer neuen Variante vergeben wird. Sie besteht aus einer Kombination aus Zahlen und Buchstaben.
- Bewertung Variante: Ergebnis aus der Evaluierung und dem Vergleich mit anderen Varianten.
- Beschreibung: Verknüpfung zu einem ausführlicheren Kommentartext

Tabelle 10: Eigenschaften der Klasse Nutzungsfunktion, in Anlehnung an (Langlotz, 2000)

<i>Eigenschaft</i>	<i>Typ</i>
Formale Bezeichnung	Text
Freie Bezeichnung	Text
Position in der Hierarchie	Text
Realisierungsindex	Numerischer Wert
Eingabeobjekte	Verknüpfung
Ausgabeobjekte	Verknüpfung
Realisierungsobjekte	Verknüpfung
Nutzer	Verknüpfung
Zeit	Verknüpfung
Forderungen	Verknüpfung
Wirkungen	Verknüpfung
Lebensphase	Text
Gruppierungsebene	Numerischer Wert
Versionsnummer	Text
Variantennummer	Text
Bewertung der Variante	Numerischer Wert
Beschreibung	Verknüpfung

#### 4.12.5.2 Eigenschaften der Funktionenobjekte

Die Eigenschaften der Funktionenobjekte wurden in Kapitel 4.6 untersucht und erläutert. Da sowohl die Produkt- als auch die Nutzungsfunktionen mit den Funktionenobjekten verknüpft werden können, ist die informationstechnische Kohärenz dieser Teilmodelle von zentraler Bedeutung. Demzufolge wurde die Spezifikation der Eigenschaften der

Funktionenobjekte in Anlehnung an (Langlotz, 2000, S. 177) entwickelt. Somit kann die Funktionenobjektklasse sowohl mit der Klasse der Produkt-, als auch der Nutzungsfunktionen verwendet werden. Im Folgenden werden die Eigenschaften der Funktionenobjekte erläutert und spezifiziert.

- Formale Bezeichnungen: Eine oder mehrere formale Bezeichnungen des Funktionenobjektes, welche einer oder mehreren Taxonomien entstammen.
- Freie Bezeichnung: Benutzerfreundlichere, erklärende Bezeichnung als Freitext
- Lebensphase: Bezeichnung der Lebensphase des Funktionenobjektes
- Versionsnummer: Fortlaufende Nummer, die beim Anlegen einer neuen Version angegeben wird. Sie besteht aus einer Kombination aus Zahlen und Buchstaben.
- Variantenummer: Eine fortlaufende Nummer, die beim Anlegen einer neuen Variante vergeben wird. Sie besteht aus einer Kombination aus Zahlen und Buchstaben.
- Bewertung Variante: Ergebnis aus der Evaluierung und dem Vergleich mit anderen Varianten.
- Beschreibung: Verknüpfung zu einem ausführlicheren Kommentartext

**Tabelle 11: Eigenschaften der Klasse Funktionenobjekt, in Anlehnung an (Langlotz, 2000)**

<i>Eigenschaft</i>	<i>Eigenschaftstyp</i>
Formale Bezeichnungen	Text[] (ein Text-Feld)
Freie Bezeichnung	Text
Lebensphase	Text
Versionsnummer	Text
Variantenummer	Text
Bewertung Variante	Numerischer Wert
Beschreibung	Dokument

#### 4.12.5.3 Eigenschaften der Funktionengruppierungen

Funktionengruppierungen sind ein Hilfsmittel zur Beherrschung der Komplexität von Nutzungsfunktionenstrukturen (siehe Kapitel 4.10.3.4). Sie ermöglichen eine Kategorisierung und Verschachtelung von Funktionen nach multiplen Kriterien. Im Folgenden werden ihre Eigenschaften beschrieben.

- Freie Bezeichnung: Frei wählbare Bezeichnung der Funktionengruppierung
- Realisierungsindex: Festlegung des Realisierungsindex, der die Position in einer teleologischen Kette angibt.
- Eingabeobjekte: Verknüpfungen zu den Funktionenobjekten, die als Eingangsgrößen in diese Funktionengruppierung fließen und von ihr verarbeitet werden.
- Ausgabeobjekte: Verknüpfungen zu den Funktionenobjekten, die als Ausgangsgrößen von dieser Funktionengruppierung ausgegeben werden.
- Realisierungsobjekte: Verknüpfungen zu den Funktionenobjekten, die diese Funktionengruppierung verkörpern bzw. realisieren.
- Nutzer: Verknüpfungen zu den Nutzern, welche diese Funktionengruppierung ausführen.

- Zeit: Verknüpfungen zu den Zeitkontextobjekten, die die Zeitintervalle festlegen, in welchen diese Funktionengruppierung ausgeführt wird.
- Forderungen: Verknüpfungen zu den Forderungen, die diese Funktionengruppierung an ihre Umgebung stellt.
- Wirkungen: Verknüpfungen zu den Wirkungen, die diese Funktionengruppierung auf ihre Umgebung ausübt.
- Lebensphase: Bezeichnung der Lebensphase der Funktionengruppierung
- Gruppierungsebene: Eine ganze Zahl, die die hierarchische Ebene der Funktionen-gruppierung in ihrer Gruppierungshierarchie angibt. Die höchste Gruppierungsebene ist 0 (Null), wachsende Zahlen bedeuten eine tiefere hierarchische Abstufung der Funktionengruppierung.
- Versionsnummer: Fortlaufende Nummer, die beim Anlegen einer neuen Version angegeben wird. Sie besteht aus einer Kombination aus Zahlen und Buchstaben.
- Variantennummer: Eine fortlaufende Nummer, die beim Anlegen einer neuen Variante vergeben wird. Sie besteht aus einer Kombination aus Zahlen und Buchstaben.
- Bewertung Variante: Ergebnis aus der Evaluierung und dem Vergleich mit anderen Varianten.
- Beschreibung: Verknüpfung zu einem ausführlicheren Kommentartext

Tabelle 12: Eigenschaften der Klasse Funktionengruppierung, in Anlehnung an (Langlotz, 2000)

<i>Eigenschaft</i>	<i>Typ</i>
Formale Bezeichnung	Text
Realisierungsindex	Numerischer Wert
Freie Bezeichnung	Text
Position in der Hierarchie	Text
Eingabeobjekte	Verknüpfung
Ausgabeobjekte	Verknüpfung
Realisierungsobjekte	Verknüpfung
Nutzer	Verknüpfung
Zeit	Verknüpfung
Forderungen	Verknüpfung
Wirkungen	Verknüpfung
Lebensphase	Text
Gruppierungsebene	Numerischer Wert
Versionsnummer	Text
Variantennummer	Text
Bewertung der Variante	Numerischer Wert
Beschreibung	Verknüpfung

#### 4.12.5.4 Eigenschaften der Nutzer

Nutzer werden im Kapitel 4.5 im Detail behandelt. Sie haben folgende Eigenschaften:

- Formale Bezeichnung: Eindeutige Bezeichnung des Nutzertyps, die aus einer festgelegten Taxonomie ausgewählt wurde

- Freie Bezeichnung: Eine erklärende Bezeichnung als Freitext
- Lebensphase: Bezeichnung der Lebensphase des Nutzerobjektes
- Versionsnummer: Fortlaufende Nummer, die beim Anlegen einer neuen Version angegeben wird. Sie besteht aus einer Kombination aus Zahlen und Buchstaben.
- Variantennummer: Eine fortlaufende Nummer, die beim Anlegen einer neuen Variante vergeben wird. Sie besteht aus einer Kombination aus Zahlen und Buchstaben.
- Bewertung Variante: Ergebnis aus der Evaluierung und dem Vergleich mit anderen Varianten.
- Beschreibung: Verknüpfung zu einem ausführlicheren Kommentartext

Tabelle 13: Eigenschaften der Klasse Nutzer, in Anlehnung an (Scholz, 1984)

<i>Eigenschaft</i>	<i>Eigenschaftstyp</i>
Formale Bezeichnung	Text
Freie Bezeichnung	Text
Lebensphase	Text
Versionsnummer	Text
Variantennummer	Text
Bewertung Variante	Numerischer Wert
Beschreibung	Dokument

#### 4.12.5.5 Eigenschaften der Zeitkontextobjekte

Der Zeitkontext besagt wann eine Nutzungsfunktion ausgeführt wird. Mehr Details zum Zeitkontext sind in Kapitel 4.7.1 zu finden. Die Zeitkontextobjekte können entsprechend einer Taxonomie aus verschiedenen Unterklassen instanziiert werden (siehe Kapitel 4.7.1). Im Folgenden werden die Eigenschaften der Klasse Zeitkontext am Beispiel einer rechteckigen periodischen Zeitangabe erläutert:

- Formale Bezeichnung: Eindeutige Bezeichnung des Zeitkontexttyps, die aus einer festgelegten Taxonomie ausgewählt wurde, und die mit „Zeit“ anfängt, z.B. „Zeit/Periodisch/Rechteckförmig“ (siehe Kapitel 4.7.1.1)
- Freie Bezeichnung: Eine erklärende Bezeichnung als Freitext
- Startzeit: Die Uhrzeit, zu welcher die Periode startet.
- Endzeit: Die Uhrzeit, zu welcher die Periode endet.
- Periode: Die Periode der Wiederholung, z.B. stündlich, täglich usw.
- Wahrscheinlichkeit: Die Wahrscheinlichkeit, mit welcher der Nutzer die Funktion zu dieser Zeit ausführen wird.
- Lebensphase: Bezeichnung der Lebensphase des Zeitkontextobjektes
- Versionsnummer: Fortlaufende Nummer, die beim Anlegen einer neuen Version angegeben wird. Sie besteht aus einer Kombination aus Zahlen und Buchstaben.
- Variantennummer: Eine fortlaufende Nummer, die beim Anlegen einer neuen Variante vergeben wird. Sie besteht aus einer Kombination aus Zahlen und Buchstaben.

- Bewertung Variante: Ergebnis aus der Evaluierung und dem Vergleich mit anderen Varianten.
- Beschreibung: Verknüpfung zu einem ausführlicheren Kommentartext

Tabelle 14: Eigenschaften der Klasse Zeitkontext, in Anlehnung an (Scholz, 1984)

<i>Eigenschaft</i>	<i>Eigenschaftstyp</i>
Formale Bezeichnung	Text
Freie Bezeichnung	Text
Startzeit	DateTime
Endzeit	DateTime
Periode	Numerischer Wert
Wahrscheinlichkeit	Numerischer Wert
Lebensphase	Text
Versionsnummer	Text
Variantennummer	Text
Bewertung Variante	Numerischer Wert
Beschreibung	Dokument

#### 4.12.5.6 Eigenschaften der Forderungen

Forderungen werden von einer Funktion an ihre Umgebung gestellt. Diese richten sich an andere Entwurfsobjekte – andere Funktionen, Funktionenbereiche, und in späteren Phasen auch an Räumen. Forderungen sind im Kapitel 4.7.2 detailliert beschrieben. Sie können mehrere Unterklassen haben, die entsprechend einer Taxonomie strukturiert sind (siehe Kapitel 4.7.2 ). Im Folgenden werden die Eigenschaften Forderungen am Beispiel einer Schallpegelforderung erläutert.

- Formale Bezeichnung: Eindeutige Bezeichnung der Forderung, die aus einer festgelegten Taxonomie ausgewählt wurde, und die mit „Forderung“ anfängt, z.B. „Forderung/Schallpegel“.
- Freie Bezeichnung: Eine erklärende Bezeichnung als Freitext
- Intensität: Eine Dezimalzahl, welche die Intensität des maximalen zulässigen Schallpegels angibt
- Lebensphase: Bezeichnung der Lebensphase der Forderung
- Versionsnummer: Eine fortlaufende Nummer, die beim Anlegen einer neuen Version angegeben wird. Sie besteht aus einer Kombination aus Zahlen und Buchstaben.
- Variantennummer: Eine fortlaufende Nummer, die beim Anlegen einer neuen Variante vergeben wird. Sie besteht aus einer Kombination aus Zahlen und Buchstaben.
- Bewertung Variante: Ergebnis aus der Evaluierung und dem Vergleich mit anderen Varianten.
- Beschreibung: Verknüpfung zu einem ausführlicheren Kommentartext

Tabelle 15: Eigenschaften der Klasse Forderung, in Anlehnung an (Scholz, 1984)

<i>Eigenschaft</i>	<i>Eigenschaftstyp</i>
Formale Bezeichnung	Text
Freie Bezeichnung	Text
Intensität	Numerischer Wert
Lebensphase	Text
Versionsnummer	Text
Variantennummer	Text
Bewertung Variante	Numerischer Wert
Beschreibung	Dokument

#### 4.12.5.7 Eigenschaften der Wirkungen

Wirkungen werden von Nutzungsfunktionen auf ihre Umwelt ausgeübt. Sie sind Emissionen physikalischer Natur, welche sich räumlich ausbreiten. Wirkungen werden im Kapitel 4.7.3 detailliert beschrieben. Wirkungen haben mehrere Unterklassen, die entsprechend einer Taxonomie strukturiert sind. Im Folgenden werden ihre Eigenschaften erläutert.

- **Formale Bezeichnung:** Eindeutige Bezeichnung der Wirkung, die aus einer festgelegten Taxonomie ausgewählt wurde, und die mit „Wirkung“ anfängt, z.B. „Wirkung/Lärmerzeugung“.
- **Freie Bezeichnung:** Eine erklärende Bezeichnung als Freitext
- **Ausbreitungscharakteristik:** Ein Wert aus einer vordefinierten Menge von Ausbreitungscharakteristiken – punktförmig, linienförmig oder flächenförmig (siehe Kapitel 4.7.3.1)
- **Intensität:** Eine Dezimalzahl, welche die Intensität der Lärmerzeugung angibt
- **Lebensphase:** Bezeichnung der Lebensphase der Wirkung
- **Versionsnummer:** Eine fortlaufende Nummer, die beim Anlegen einer neuen Version angegeben wird. Sie besteht aus einer Kombination aus Zahlen und Buchstaben.
- **Variantennummer:** Eine fortlaufende Nummer, die beim Anlegen einer neuen Variante vergeben wird. Sie besteht aus einer Kombination aus Zahlen und Buchstaben.
- **Bewertung Variante:** Ergebnis aus der Evaluierung und dem Vergleich mit anderen Varianten.
- **Beschreibung:** Verknüpfung zu einem ausführlicheren Kommentartext

Tabelle 16: Eigenschaften der Klasse Wirkung, in Anlehnung an (Scholz, 1984)

<i>Eigenschaft</i>	<i>Eigenschaftstyp</i>
Formale Bezeichnung	Text
Freie Bezeichnung	Text
Ausbreitungscharakteristik	Aufzählung
Intensität	Numerischer Wert
Lebensphase	Text
Versionsnummer	Text
Variantennummer	Text
Bewertung Variante	Numerischer Wert
Beschreibung	Dokument

#### 4.12.5.8 Eigenschaften der Produktfunktionen

Produktfunktionen sind technische Funktionen, die durch das zu planende Objekt (das Produkt) selbst ausgeübt werden sollen. (von Both, 2006, S. 119) Die Eigenschaften der Produktfunktionen werden in Kapitel 4.8 im Detail untersucht. Im Folgenden werden die Eigenschaften der Produktfunktionen kurz erläutert und spezifiziert.

- **Formale Bezeichnung:** Eindeutige Bezeichnung der Funktion, die aus einer festgelegten Taxonomie ausgewählt wurde. Für Produktfunktionen existieren vordefinierten Taxonomien auf verschiedenen Abstraktions- und Modellebenen – allgemeine, kanonische, spezielle Funktionen. (Huang, 2002), (Langlotz, 2000)
- **Freie Bezeichnung:** Benutzerfreundlichere, erklärende Bezeichnung als Freitext
- **Position in der Hierarchie:** Eine strukturierte Nummerierung, die die Position der Produktfunktion in der Funktionenhierarchie angibt. Diese kann aus Zahlen und Buchstaben bestehen.
- **Eingabeobjekte:** Verknüpfungen zu den Funktionenobjekten, die als Eingangsgrößen in diese Funktion fließen und von ihr verarbeitet werden.
- **Ausgabeobjekte:** Verknüpfungen zu den Funktionenobjekten, die als Ausgangsgrößen von dieser Funktion ausgegeben werden.
- **Realisierungsobjekte:** Verknüpfungen zu den Funktionenobjekten, die diese Funktion verkörpern bzw. realisieren.
- **Zeit:** Eine Produktfunktion kann mit einem Zeitkontext verknüpft werden, oft werden jedoch Produktfunktionen ohne Zeitkontext modelliert.
- **Forderungen:** Verknüpfungen zu den Forderungen, die diese Funktion an ihre Umgebung stellt.
- **Wirkungen:** Verknüpfungen zu den Wirkungen, die diese Funktion auf ihre Umgebung ausübt.
- **Lebensphase:** Bezeichnung der Lebensphase der Funktion
- **Gruppierungsebene:** Eine ganze Zahl, die die hierarchische Ebene der Funktion in einer Gruppierungshierarchie angibt. Die höchste Gruppierungsebene ist 0 (Null), wachsende Zahlen bedeuten eine tiefere hierarchische Abstufung der Funktion.
- **Versionsnummer:** Fortlaufende Nummer, die beim Anlegen einer neuen Version angegeben wird. Sie besteht aus einer Kombination aus Zahlen und Buchstaben.

- **Variantennummer:** Eine fortlaufende Nummer, die beim Anlegen einer neuen Variante vergeben wird. Sie besteht aus einer Kombination aus Zahlen und Buchstaben.
- **Bewertung Variante:** Ergebnis aus der Evaluierung und dem Vergleich mit anderen Varianten.
- **Beschreibung:** Verknüpfung zu einem ausführlicheren Kommentartext

**Tabelle 17: Eigenschaften der Klasse Produktfunktion, in Anlehnung an (Langlotz, 2000)**

<i>Eigenschaft</i>	<i>Typ</i>
Formale Bezeichnung	Text
Freie Bezeichnung	Text
Eingabeobjekte	Verknüpfung
Ausgabeobjekte	Verknüpfung
Realisierungsobjekte	Verknüpfung
Zeit	Verknüpfung
Forderungen	Verknüpfung
Wirkungen	Verknüpfung
Restriktionen	Verknüpfung
Lebensphase	Text
Gruppierungsebene	Numerischer Wert
Versionsnummer	Text
Variantennummer	Text
Bewertung der Variante	Numerischer Wert
Beschreibung	Verknüpfung

## 5 Konzeptverifikation

Das multiskalierbare Funktionenmodellierungskonzept ist sowohl auf architektonischen Nutzungsfunktionen als auch auf technischen Produktfunktionen anwendbar. Die Planung einer Einrichtung der Außer-Haus-Wirtschaft, und insbesondere die darin eingeschlossene Großküchenplanung, ist ein wichtiger Anwendungsfall, mit dessen Hilfe in diesem Kapitel die Funktionenmodellierung an der Schnittstelle zwischen Nutzungs- und Produkttechnologie auf verschiedenen Modellebenen veranschaulicht wird.

Der Fachliteratur über Großküchenplanung (Rohatsch, Lemme, Neumann, & Wagner, *Grossküchen*, 2002, S. 135) ist zu entnehmen, dass ein integraler Ansatz, der fachspezifisches Wissen über die Realisierung der technischen Funktionen einer Küche voraussetzt, von großem Vorteil ist. Nur auf dieser Weise wird eine präzise Abstimmung der Funktionsflächenplanung mit der technischen Ausstattung in einer frühen Konzeptphase ermöglicht, so dass der Flächenbedarf optimal ermittelt werden kann und unnötige Kosten vermieden werden können.

Als Verifikationsbeispiel werden ausgewählte Teilbereiche des Verkaufs- und Produktionsbereichs des Projektes „Autobahnraststätte 2000“ (Schulz & Wölki, *ME-Projektbericht Autobahn-Raststätte "2000"*, 2007) ausgehend von der Projektdokumentation modelliert. Die Modellierung findet auf den Modellebenen der Nutzungs- und Produktfunktionen, und der abstrakten Funktionenbereiche statt. Die Entwicklung von Nutzungs-, Produktfunktionen und Funktionenbereiche der Großküche wird auf Grundlage der Fachliteratur zur Großküchenplanung (Rohatsch, Lemme, Neumann, & Wagner, *Grossküchen*, 2002) durchgeführt.

Der Schwerpunkt der Verifikation liegt auf dem Nachweis der Fähigkeit des vorgestellten multiskalierbaren Funktionenmodellierungskonzepts, relevante funktionale Aspekte korrekt abzubilden, explizit darzustellen und ein systematisches Arbeiten mit ihnen zu ermöglichen.

Anhand der erarbeiteten Funktionenstrukturen und -Sichten wird gezeigt, wie Optimierungspotentiale mithilfe der Funktionenmodellierung sichtbar gemacht und wie neue Varianten entwickelt werden können. Schließlich wird eine Unterstützungstoolbox zur Funktionenmodellierung architektonischer Systeme vorgestellt.

## 5.1 Erfassen der funktionalen Aufgabenstellung

Eine Autobahnraststätte ist eine bewirtete Rastanlage, die aus einem Raststättengebäude mit Nebengebäuden und ggf. Motel besteht. Eine solche Anlage ermöglicht unter anderem die Erholung, Entspannung und Versorgung der Verkehrsteilnehmer und erhöht damit die Sicherheit im Straßenverkehr (Schulz & Wölki, ME-Projektbericht Autobahn-Raststätte "2000", 2007, S. 7).

Als eine Einrichtung der Außer-Haus-Wirtschaft, die eine Verpflegungsfunktion erfüllen soll, benötigt eine Autobahnraststätte eine Großküche. Die Großküche ist das Herzstück solcher Einrichtungen. Die Begriffe „gewerbliche Küche“ und „Großküche“ werden synonymisch eingesetzt, wobei sich letzterer Begriff im deutschsprachigen Raum etabliert hat (Rohatsch, Lemme, Neumann, & Wagner, 2002, S. 215).

Heutzutage sind die Erwartungen der Gäste in Verbindung mit der Verpflegung gestiegen. Es werden mehr Erlebnis, Action, Lebensfreude und Faszination erwünscht. Das stellt höhere Anforderungen – sowohl an das solide auszubildende Personal, an den anzuwendenden Technologien und Geräten, als auch an der Gebäudeplanung.

Das Konzept einer Großküche hängt sehr stark von deren beabsichtigten Nutzungszweck ab. Eine Großküche für ein Sterne-Restaurant muss ganz anderen Anforderungen genügen als eine Großküche einer Mensa. Die Unterschiede sind unter anderem in den zu realisierenden Nutzungsfunktionen, in der Art und Qualität der technischen Ausstattung und in der Art der Zuordnung der Nutzungsfunktionen zu Funktionsbereichen. Deswegen wird die Aufgabenstellung wie folgt formuliert:

*Aufgabenstellung: Es sollen multiskalierbare Modelle ausgewählter Funktionen einer Autobahnraststätte ausgehend von den Unterlagen des Projektes „Autobahnraststätte 2000“ sowie von gängigen Großküchenplanungskonzepten erarbeitet werden, mit dem Ziel, Optimierungspotentiale modellbasiert darzustellen und zu analysieren.*

Die funktionalen Beziehungen zwischen Großküche (und Produktionsbereich im Allgemeinen) und Verkaufsbereich werden zur Verifikation der multiskalierbaren Funktionenmodellierung herangezogen. In den folgenden Kapiteln werden die Funktionsbereiche der „Autobahnraststätte 2000“ wie Selbstbedienungsgastraum, Free-Flow, Kinderspielecke und Küche modelliert und analysiert.

Hierbei können die Modellierung und Variantenentwicklung auf verschiedenen Modellebenen erfolgen – Nutzungsfunktionen, Produktfunktionen und abstrakte Funktionsbereiche. Im Folgenden werden sowohl Varianten innerhalb einzelner Mo-

dellebenen, als auch Variationen der Zuordnungen zwischen verschiedenen Modellebenen erarbeitet und analysiert. Als Erstes werden die Prozesse im Herzstück der Einrichtung – der Großküche – untersucht.

#### 5.1.1 Prozesse in einer Großküche

Ein wesentlicher Bestandteil der funktionalen Beschreibung sind die Prozesse, die in dem zu planenden Objekt durchgeführt werden sollen, bzw. die Funktionen, die dort ausgeführt werden sollen. Die Prozesse in einer Großküche können wie folgt aufgegliedert werden (Rohatsch, Lemme, Neumann, & Wagner, Grossküchen, 2002):

- Anlieferung
- Lagerung
- Vorbereitung
- Zubereitung
- Nachbereitung
- Ausgabe

Das Zusammenspiel zwischen Nutzern, Nutzungsfunktionen, Produktfunktionen und technischer Ausstattung in der Konzeptphase ist keineswegs unidirektional. Die Zusammenhänge zwischen den Entwurfsobjekten sind vielschichtig und können in verschiedenen Richtungen verlaufen.

In der Top-Down-Richtung bestimmt das übergeordnete Konzept der Einrichtung die auszuführenden Nutzungsfunktionen. Diese erfordern ihrerseits bestimmte sekundäre Nutzungsfunktionen und Produktfunktionen. Letztere werden durch Realisierungsobjekte der technischen Ausstattung erfüllt.

In den folgenden Kapiteln werden die Prozesse Vorbereitung und Zubereitung beschrieben, die als Ausgangsbasis zur Funktionenmodellierung der Großküche dienen.

#### 5.1.2 Prozess der Nahrungsmittelvorbereitung

Vorbereitungsarbeiten erfordern handwerkliches Geschick. Sie beeinflussen stark die Qualität des Produktes "Speise". Es gibt viele Verfahrensarten der Vorbereitung wie z.B. Putzen, Waschen, Schälen, Mischen, Schneiden usw. Die Vorbereitungsarbeiten in einer Großküche sind eng mit der Zubereitung verzahnt. (Rohatsch, Lemme, Neumann, & Wagner, Grossküchen, 2002, S. 106) Daher sollte die funktionale Planung die enge Kopplung dieser beiden Teilprozesse berücksichtigen.

Die klassische, „französische“ Küche unterscheidet zwischen der Vorbereitung von Fleisch, Obst und Gemüse, Fisch, Geflügel und Wild und empfiehlt die räumliche Trennung dieser Vorbereitungsarbeiten. (Rohatsch, Lemme, Neumann, & Wagner, Grossküchen, 2002, S. 107-108) Dafür gibt es verschiedene Gründe. Einer der Wichtigsten ist die Einhaltung von hygienischen Grundsätzen. So gilt z.B. die Vorbereitung von Obst und Gemüse wegen der möglicherweise anhaftenden Erde als unrein und die Behandlung von Fisch, Geflügel und Wild unterliegt besonderen hygienischen Vorschriften. Dementsprechend sieht die Planung einer klassischen, „französischen“ Küche i.d.R. fünf Vorbereitungsräume vor, entsprechend der fünf Vorbereitungsfunktionsklassen:

- Für Fleisch
- Für Obst und Gemüse
- Für Fisch
- Für Geflügel
- Für Wild

Heutzutage können viele Nahrungsmittel, inkl. Fisch, Geflügel und Wild, mit hoher Convenience-Stufe in einer Großküche verwendet werden. Das öffnet neue Möglichkeiten zur Optimierung des Flächenbedarfs, je nach Konzept der Einrichtung. Große Hotelrestaurants und Gourmetrestaurants setzen nach wie vor alle Nutzungsfunktionen der Vorbereitung um. Einfachere Restaurants, Gaststätten und Raststätten dagegen entscheiden sich überwiegend für eine Verwendung von Fisch, Geflügel und Wild mit hoher Convenience-Stufe und setzen nur die Nutzungsfunktionen zur Vorbereitung von Fleisch und Obst/Gemüse um. Dabei wird nicht nur der Flächenbedarf reduziert, sondern auch der manuelle Aufwand zur Durchführung der entsprechenden Vorbereitungsverfahren.

Die Nutzungsfunktionen der Vorbereitung stellen gewisse Forderungen an weiteren Nutzungsfunktionen. Manche Erschließungsfunktionen, wie die Nutzungsfunktion „Durchgehen“, dürfen nicht mit den Vorbereitungsfunktionen kombiniert werden. Das bedeutet, dass Räume, denen Vorbereitungsfunktionen zugeordnet wurden, grundsätzlich nicht als Durchgangsräume genutzt werden dürfen.

Umgekehrt fordern die Vorbereitungsfunktionen eine Verknüpfung zu anderen Arten von Erschließungsfunktionen – zum Beispiel zu Funktionen des Transports von unreinen Gütern. Das bedeutet, dass Räume, denen Vorbereitungsfunktionen zugeordnet wurden, einen direkten Ausgang zum unreinen Verkehrsweg erhalten müssen. (Rohatsch, Lemme, Neumann, & Wagner, Grossküchen, 2002, S. 108)

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass das übergeordnete Konzept der Einrichtung – Gourmetrestaurant, Hotelrestaurant, Raststätte etc. – einen direkten

Einfluss auf die Auswahl der umzusetzenden Nutzungsfunktionen hat. Die ausgewählten Nutzungsfunktionen können zusätzlich derart verknüpft und zu räumliche Funktionenbereiche zugeordnet werden, dass weitere Optimierungsmöglichkeiten ausgeschöpft werden können. Diese können sowohl die Funktionszuordnungen zu Funktionenbereiche, als auch die gemeinsame Nutzung von technischer Ausstattung betreffen. Dabei sind Forderungen und Restriktionen, die aus hygienischen und planerischen Grundsätzen hergeleitet werden, unbedingt zu beachten.

### 5.1.3 Prozess der Speisenzubereitung

Die Zubereitung nimmt eine zentrale Rolle innerhalb des Produktionsbereiches jeder Großküche ein, weil darin die essenziellen Zustandsänderungen an den in den Prozess eingehenden Gütern (Lebensmittel, Zutaten und Gewürze) ablaufen und die Umwandlung zu verzehrfähigen Speisen erfolgt. Einerseits werden hier Nahrungsmittel zu Speisen verarbeitet und aufgewertet. Hierzu wird eine Reihe von Grundverfahren eingesetzt, die z.B. in (Rohatsch, Lemme, Neumann, & Wagner, Grossküchen, 2002, S. 117) aufgeführt sind. Andererseits ist die technische Ausstattung in der Zubereitung und insbesondere in der Zubereitung warmer Speisen die mit Abstand aufwändigste und komplexeste im Produktionsbereich einer Großküche.

Überwiegend wird die Zubereitung durch Garen erreicht. Das Garen stellt einen Oberbegriff für eine Verfahrensgruppe dar, die durch eine Kombination von physikalischen und chemischen Vorgängen wie Erwärmen, Bewegen, Oxidation, Extraktion, Koagulation usw. repräsentiert wird. Die Wärmeübertragung auf die Behandlungsgüter erfolgt bei den einzelnen Grundverfahren durch Kontakt, Leitung, Konvektion bzw. Strahlung. Überwiegend wirken mehrere der genannten Wärmeübertragungsformen kombiniert ein und führen schließlich zum gewünschten Resultat, der "Speise".

Die Wahl der Garverfahren hängt von verschiedenen Faktoren ab: (Rohatsch, Lemme, Neumann, & Wagner, Grossküchen, 2002, S. 116)

1. Charakter und Konzept der Einrichtung
2. Verpflegungsart und Teilnehmerzahl
3. Sortiment und Dienstleistungsniveau
4. Arbeitskräftepotential und Qualifikation sowie Motivation der Mitarbeiter

Das Garen lässt sich in 14 verschiedene Grundverfahren systematisieren. Diese Grundverfahren und ihre Wirkprinzipien werden in (Rohatsch, Lemme, Neumann, &

Wagner, Grossküchen, 2002, S. 117) detailliert beschrieben und skizziert. Im Folgenden werden sie aufgelistet und kurz erläutert:

**Tabelle 18: Beschreibung der Garverfahren, aus (Rohatsch, Lemme, Neumann, & Wagner, Grossküchen, 2002, S. 117)**

Garverfahren	Beschreibung
Backen	Garen in Heißluft bei 180 ... 200 °C
Backen in turbulenter Heißluft	Garen in turbulenter Heißluft von 100...250°C ( Anteil der Konvektionswärme wesentlich erhöht)
Braten	Garen in einem Fettfilm bei max. 200°C mit langsam sinkender Tendenz
Dämpfen	Garen in strömendem Wasserdampf um 100°C
Druckdämpfen	Garen in übersättigtem Dampf bei einem Druck von 0,8 ...0.1 Mpa (= 0.8 ...0,1 bar) und 110 ... 120 °C
Dünsten	Garen in einem flüssigen Stoffgemisch um 100°C
Frittieren	Garen in einem Fettbad von 160...200°C
Garziehen (Poschieren)	Garen in Wasser und Dampf bei fallender Temperatur von 100 ... 75 °C
Grillen	Garen durch Leitung oder Strahlungswärme bei 250 ... 300°C
Heißluftdämpfen	Kombiniertes Backen, Dämpfen, Grillen, teilweise auch in Folge bei unterschiedlichen Temperaturen
Mikrowellengaren	Garen durch innere Erwärmung des Gutes, Reibungswärme der Moleküle durch Einwirkung von Mikrowellen
Kochen ( Sieden)	Garen in Wasser bei 100 °C das Gargut ist allseitig vom Medium umgeben
Rösten	Garen bei 300 ... 350 °C durch Leitung, Konvektion, Strahlung. Flüssigkeitszusatz
Schmoren	Garen in einem Stoffgemisch (Fett, Saft, Wasser) Temperatur sinkt von 200 °C auf etwa 100 °C ab.

In der Gegenwart, da sowohl gesunde Ernährung als auch Gaumenkitzel und optische Attraktivität der angerichteten Mahlzeiten einen gleichermaßen hohen Rang einnehmen, bieten sich insbesondere *das Dämpfen, Dünsten, Heißluftdämpfen, Grillen und das Mikrowellengaren an.* (Rohatsch, Lemme, Neumann, & Wagner, Grossküchen, 2002, S. 118)

Die Garverfahren können von verschiedenen Arten von Geräten realisiert werden. Manche Gerätearten wie Großkochkessel und Kippbratpfanne werden schon seit langem im Großküchenbereich eingesetzt. Andere Gerätearten wie Heißluftdämpfer und Vario-Bräter sind Ergebnis neuerer Entwicklungen. Im Folgenden werden einige Gerätearten und die mit ihnen realisierbaren Grundverfahren aufgeführt:

Großkochkessel bestehen aus Innen- und Außenkessel. Am Boden des Außenkessels ist ein Wasserbad angebracht, in welchem Heizkörper installiert sind. Durch Erwärmung verdampft das Wasser aus dem Wasserbad und gibt die Wärme an den Innenkessel ab. Mit einem Großkochkessel können folgende Garverfahren realisiert werden (Rohatsch, Lemme, Neumann, & Wagner, Grossküchen, 2002, S. 117):

- Dämpfen (unter Verwendung von Einsätzen)
- Dünsten
- Garziehen
- Kochen

Die Kippbratpfanne ist ein typisches Großküchengerät der konventionellen Küchen. Sie wird in zunehmendem Maße vom Heißluftdämpfer verdrängt. Kippbratpfannen bestehen aus einer stählernen Pfanne mit Schnaupe zum punktgenauen Ausgießen, die unterhalb des Bodens gleichmäßig beheizt wird. Damit können folgende Garverfahren realisiert werden (Rohatsch, Lemme, Neumann, & Wagner, Grossküchen, 2002, S. 117):

- Braten
- Dünsten
- Schmoren

Backöfen befinden sich entweder im Unterbau von Herden, oder werden zu zwei oder drei Einheiten als Etagen-Backofen zusammengefasst. Backöfen können durch einen Heißluftdämpfer ersetzt werden. Backofen können folgende Garverfahren realisieren:

- Backen
- Backen in turbulenter Heißluft

Prototyp des Multifunktionsgerätes ist der Heißluftdämpfer, der schon seit 20 Jahren prägend für Großküchen ist und Großkochkessel und Kippbratpfannen beträchtlich verdrängt hat. (Rohatsch, Lemme, Neumann, & Wagner, Grossküchen, 2002, S. 129) Beim *Heißluftdämpfer* handelt es sich um das heute am häufigsten eingesetzte und genutzte Gerät in Großküchen. Es ist ein Multifunktionsgerät, das nahezu universell einsetzbar ist. Heißluftdämpfer haben einen schrankartigen Aufbau, werden über Horden- bzw. Etagengestelle mit verschiedenartigen GN-Behältern beschickt. (Rohatsch, Lemme, Neumann, & Wagner, Grossküchen, 2002, S. 122)

Das Heißluftdämpfen ist eine Kombination aus den Grundverfahren Backen und Dämpfen, die zusätzlich zeitlich, temperaturmäßig und hinsichtlich der Feuchtigkeitssättigung gutbezogen variiert werden. Man kann dieses als – gutbezogen – optimales Garen bezeichnen. (Rohatsch, Lemme, Neumann, & Wagner, Grossküchen, 2002, S. 31) Grundverfahren Heißluftdämpfer – diese können auch automatisch kombiniert werden oder in Folge verwendet werden. (Rohatsch, Lemme, Neumann, & Wagner, Grossküchen, 2002, S. 117):

- Heißluftdämpfen – 50... 300 °C
  - Backen
  - Grillen
  - Braten
  - Schmoren
- Kombi- oder Heiß-Dampf-Garen, wobei Heißluft und Dampf mit Temperaturen von 100 ... 250 °C kombiniert werden
  - Dämpfen
  - Dünsten
  - Garziehen
  - Forciertes Dämpfen bei Temperaturen von 105 – 130 °C
  - Regenerieren (Heißluft bei wenig Dampfzugabe)

Die hier erwähnten Geräte stellen eine begrenzte Auswahl der verfügbaren Großküchengeräte dar. Weiterführende Informationen sind in (Rohatsch, Lemme, Neumann, & Wagner, Grossküchen, 2002, S. 117-128) zu finden.

In den letzten Jahrzehnten wurden die Technologien der Zubereitung bedeutend weiterentwickelt. Es wurden innovative Gerätearten eingeführt, welche mehrere herkömmliche Garverfahren realisieren und beliebig kombinieren können. Dadurch können mehrere herkömmliche Großküchengeräte ersetzt werden und somit Flächenbedarf in der warmen Küche reduziert werden. Diese Geräte verfügen oft über eingebettete Steuerungs- und Regelungssystemen, die eine exakte Programmierung und Steuerung der Zubereitungsverfahren und deren Kombinationen ermöglichen.

Dadurch reduzieren sie nicht nur den Flächenbedarf in der Großküche, sondern sind auch effizienter in Bezug auf die Dauer der Garverfahren und den Energieverbrauch. Der wichtigste Nachteil der innovativen Technologien sind die höheren Investitionskosten, die oftmals das Doppelte im Vergleich zu den Herkömmlichen betragen. Es ist daher empfehlenswert, verschiedene Planungsvarianten zu entwerfen, um eine Entscheidungsbasis zu schaffen.

Durch die vielfältigen, technischen Möglichkeiten zur Realisierung von Produkt- und Nutzungsfunktionen, wird auch eine Bottom-Up-Richtung der Betrachtung der Zusammenhänge zwischen den Entwurfsobjekten ermöglicht. Die Entscheidung für gewisse Arten von Geräten kann den konzeptuellen, funktionellen Entwurf der Großküche maßgeblich beeinflussen. Auch wenn diese technische Ausstattung kein Bauteil des Gebäudes ist, so werden grundlegende Entwurfparameter des Gebäudeentwurfs durch die Auswahl der zu verwendenden Geräten festgelegt.

Sollte z.B. die Entscheidung getroffen werden, Multifunktionsgeräte wie Heißluftdämpfer oder Variobräter anstatt mehrere einzelne Geräte einzusetzen, würde der Flächenbedarf im Produktionsbereich wesentlich reduziert werden. Würde man im weiteren Verlauf des Entwurfes mit diesem reduzierten Flächenbedarf fortfahren, kann diese Entscheidung später nicht ohne weiteres rückgängig gemacht werden – herkömmliche Geräte würden einen höheren Flächenbedarf und längere Garzeiten verlangen. (Rohatsch, Lemme, Neumann, & Wagner, Grossküchen, 2002, S. 129)

Darüber hinaus gibt es seit Anfang der 90er Jahre die Tendenz, Küchenfunktionen zu verlagern, die Speisezubereitung näher an den Gast heranzubringen und sie dort zu zelebrieren. Dies wurde durch die Entwicklung von kompakten variablen Arbeitsplätzen mit Mehrfunktionscharakter im Rahmen des sog. Front-Cooking möglich gemacht. Das Front-Cooking ist eine rationale und effektive Tätigkeit des Personals vor den Augen der Gäste. Dabei werden Bratplatten, Herde, Wok, Pasta-Cooker, Wasserbäder etc. eingesetzt. Appetitliche Präsentation von Speisen aber auch Show und Attraktion sind wesentliche Merkmale des Front-Cooking. (Rohatsch, Lemme, Neumann, & Wagner, Grossküchen, 2002, S. 133)

#### 5.1.4 Traditionelle und moderne Trends in der Großküchenplanung

Es hat sich ein Trend herauskristallisiert, die warme Küche gemeinsam mit der Kalten Küche, den Vorbereitungsräumen, der Patisserie, der Schwarzspüle und dem Küchenleiterbüro als einheitlichen Raumkomplex "Küchenanlage" in die Bauten einzuordnen. Darunter versteht man die zusammenhängende, übersichtliche Großraumausbildung der genannten Funktionsräume ohne starre räumliche Trennung voneinander. (Rohatsch, Lemme, Neumann, & Wagner, Grossküchen, 2002, S. 138)

Die warme Küche nimmt traditionell die zentrale Position und Lage im Wirtschaftsbereich von Großküchen ein. Hierfür gibt es mehrere Gründe:

- Stellenwert der warmen Speisen im Sortiment
- großer Flächenbedarf
- komplizierte technische Bedingungen für die Aufstellung

- Anschluss und Betrieb der thermischen Hauptausrüstungen unter Beachtung der Arbeitsbedingungen für die dort Beschäftigten

Die Kalte Küche wird oft direkt im Rückraum der Warmen Küche angeordnet. Wenn bei bestehenden Gebäuden die Anordnung derartiger Großräume auf einer Ebene nicht möglich ist, sind vorrangig die Gemüse- und Fleischvorbereitung aus der Küchenanlage herauszulösen und räumlich zu separieren, weil hygienische Aspekte (z.B. Bearbeitung erdhaltiger Güter und spezifische Vorschriften für die Behandlung von Fleisch und Geflügel) dafür sprechen. (Rohatsch, Lemme, Neumann, & Wagner, Grossküchen, 2002, S. 138)

Die Vorbereitungsfunktionen sind miteinander verträglich - die zugeordneten Räume dürfen direkt aneinander liegen. Die Verträglichkeit erlaubt es, technische Ausstattung gemeinsam zu verwenden - wenn die Funktionen benachbarten Räumen zugeordnet sind, kann ein gemeinsames Waschbecken an der Verbindungswand installiert werden.

Darüber hinaus gibt es einen Trend, dass die Küchenanlage immer kleiner wird - Convenience Produkten, Multifunktionsgeräte und Verlagerung von Produktionsfunktionen in die Gastbereiche machen das möglich. (Rohatsch, Lemme, Neumann, & Wagner, Grossküchen, 2002, S. 139)

## 5.2 Ermittlung und Benennung der Nutzungsfunktionen

Im Folgenden wird eine erste Liste der aus den vorherigen Kapiteln identifizierten Nutzungsfunktionen zusammengestellt (IN ANLEHNUNG AN (Rohatsch, Lemme, Neumann, & Wagner, Grossküchen, 2002) UND (Schulz & Wölki, ME-Projektbericht Autobahn-Raststätte "2000", 2007)). Diese Liste dient als Ausgangspunkt für die weiteren Schritte der Funktionsmodellierung.

### Übergeordnete Funktionen

- Nahrungsmittel anliefern
- Nahrungsmittel lagern
- Nahrungsmittel vorbereiten
- Speisen zubereiten
- Speisen nachbereiten
- Speisen ausgeben

### Vorbereitungsfunktionen

- Fleisch vorbereiten
- Obst und Gemüse vorbereiten

- Fisch vorbereiten
- Geflügel vorbereiten
- Wild vorbereiten

Zubereitungsfunktionen:

- Kalte Speisen zubereiten
- Warme Speisen zubereiten
- Nahrungsmittel garen
- Nahrungsmittel marinieren
- Nahrungsmittel räuchern
- Nahrungsmittel mixen
- Gargeräte bedienen
- Nahrungsmittel backen
- Nahrungsmittel braten
- Nahrungsmittel dämpfen
- Nahrungsmittel druckdämpfen
- Nahrungsmittel dünsten
- Nahrungsmittel frittieren
- Nahrungsmittel garziehen
- Nahrungsmittel grillen
- Nahrungsmittel heißluftdämpfen
- Nahrungsmittel mikrowellengaren
- Nahrungsmittel kochen (Sieden)
- Nahrungsmittel rösten
- Nahrungsmittel schmoren

Allgemeine Nutzungsfunktionen

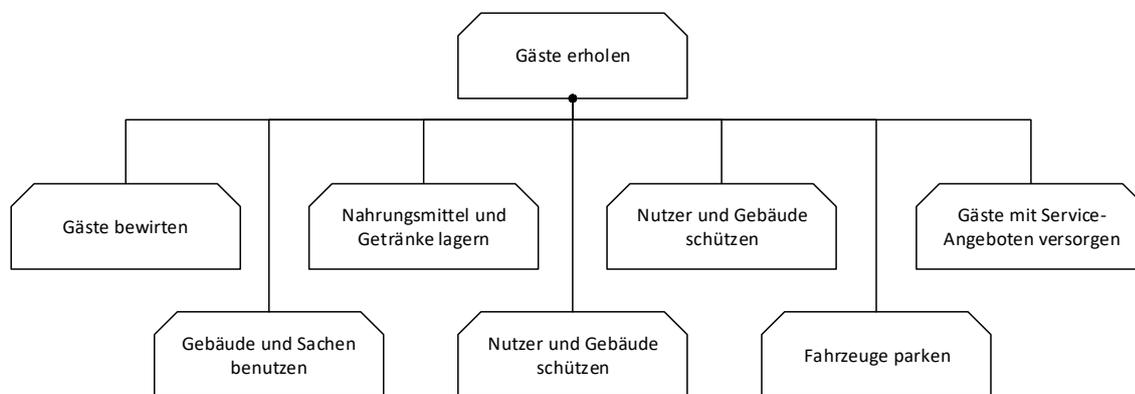
- Funktionenbereiche erschließen
- Reine/Unreine Güter transportieren

### 5.3 Erarbeiten einer hierarchischen Nutzungsfunktionsstruktur

Im vorherigen Kapitel wurde ein Satz von Nutzungsfunktionen ermittelt, welcher nun strukturiert und erweitert werden soll. Hierfür werden neben der Fachliteratur (Rohatsch, Lemme, Neumann, & Wagner, Grossküchen, 2002) auch Ergebnisse aus dem Projekt „Autobahnraststätte 2000“ herangezogen und integriert. (Schulz & Wölki, ME-Projektbericht Autobahn-Raststätte "2000", 2007)

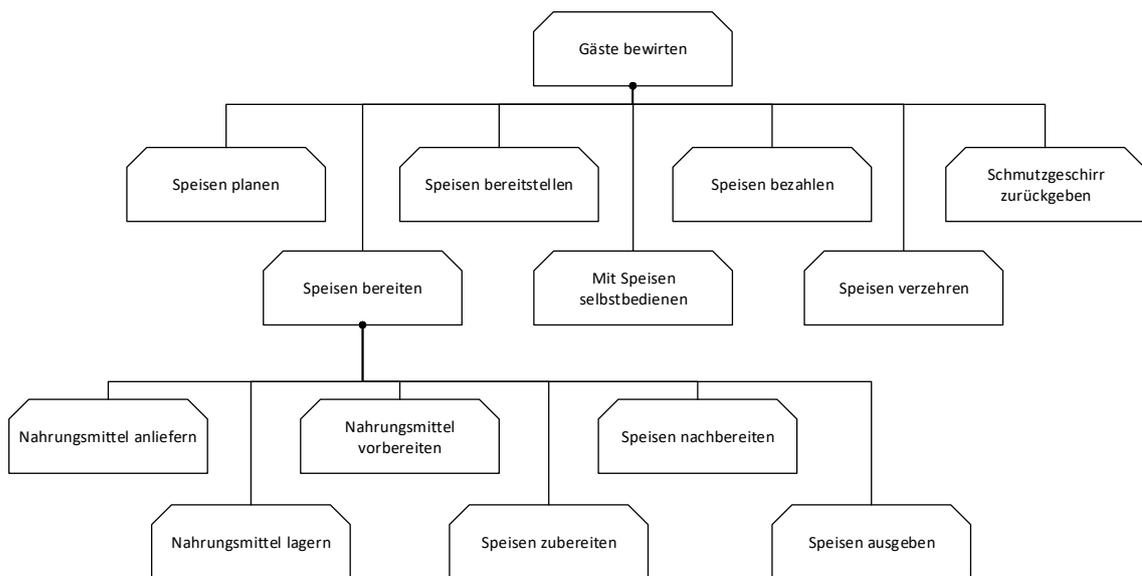
Die folgenden Funktionenstrukturen erheben nicht den Anspruch der Vollständigkeit. Das primäre Ziel der Funktionenmodelle des Verifikationsbeispiels ist es zu zeigen, wie im Rahmen des systematischen Vorgehens zur Funktionenmodellierung architektonischer Systeme das funktionale Konzeptmodell des zu planenden Objektes – der Großküche einer Autobahnraststätte – erarbeitet werden kann. Deswegen werden nur ausgewählte Funktionen behandelt, die zum besseren Verständnis des Vorgehens beitragen.

Als Erstes werden der Vollständigkeit halber die Gesamtfunktion und deren Teilfunktionen der zu planenden Autobahnraststätte identifiziert. Wie Abbildung 59 und Abbildung 60 zeigen, befindet sich die Gesamtfunktion drei Hierarchieebenen höher als die bereits aus der Literatur identifizierten Funktionen „Nahrungsmittel vorbereiten“ und „Nahrungsmittel zubereiten“.



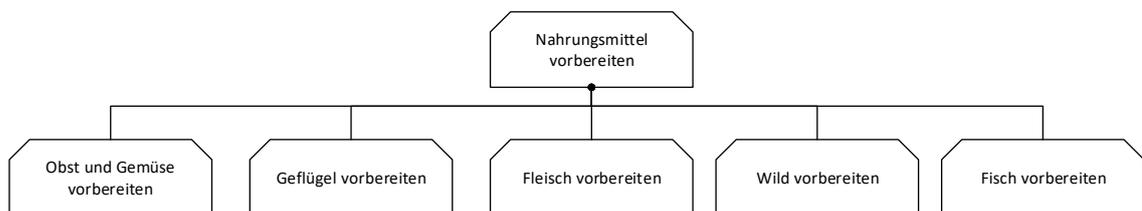
**Abbildung 59: Gesamtfunktion und Teilfunktionen einer Autobahnraststätte, in Anlehnung an (ROHATSCH, LEMME, NEUMANN, & WAGNER, GROSSKÜCHEN, 2002) UND (SCHULZ & WÖLKI, ME-Projektbericht Autobahn-Raststätte "2000", 2007)**

Die Funktion „Nahrungsmittel vorbereiten“ ist eine Teilfunktion von „Speisen bereiten“, welche ihrerseits ein Teil von „Gäste bewirten“ ist (siehe Abbildung 60). Der Zweck einer Autobahnraststätte ist es, die Erholung der reisenden zu ermöglichen und zu unterstützen. Deswegen wird die Gesamtfunktion der Autobahnraststätte „Gäste erholen“ benannt (siehe Abbildung 59).



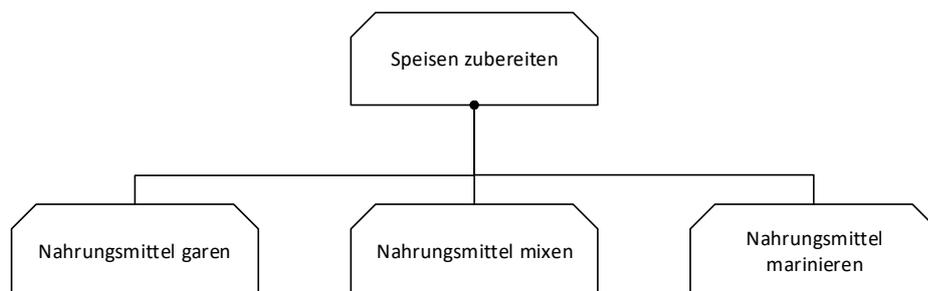
**Abbildung 60: Die hierarchische Nutzungsfunktionsstruktursicht „Gäste bewirten“, in Anlehnung an (ROHATSCH, LEMME, NEUMANN, & WAGNER, GROSSKÜCHEN, 2002) UND (SCHULZ & WÖLKI, ME-PROJEKTBERICHT AUTOBAHN-RASTSTÄTTE "2000", 2007)**

Abbildung 61 zeigt die Funktionenhierarchie unter der Funktion „Nahrungsmittel vorbereiten“.



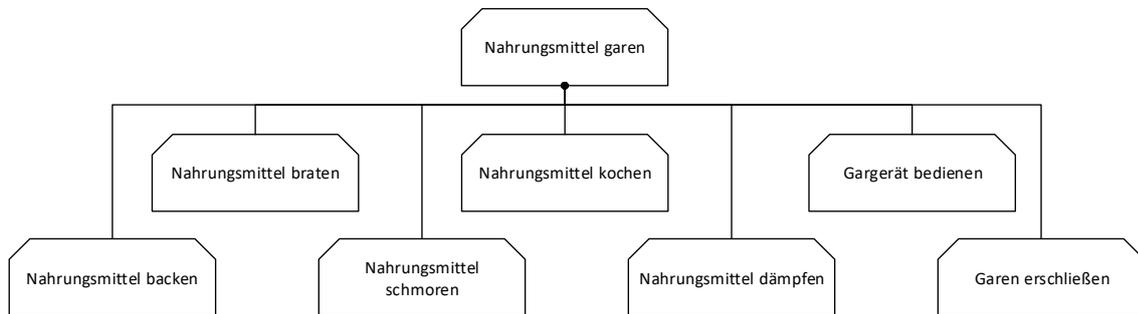
**Abbildung 61: Die hierarchische Nutzungsfunktionsstruktursicht „Nahrungsmittel vorbereiten“, in Anlehnung an (ROHATSCH, LEMME, NEUMANN, & WAGNER, GROSSKÜCHEN, 2002) UND (SCHULZ & WÖLKI, ME-PROJEKTBERICHT AUTOBAHN-RASTSTÄTTE "2000", 2007)**

Abbildung 62 zeigt die Funktionenhierarchie unter der Funktion „Speisen zubereiten“.



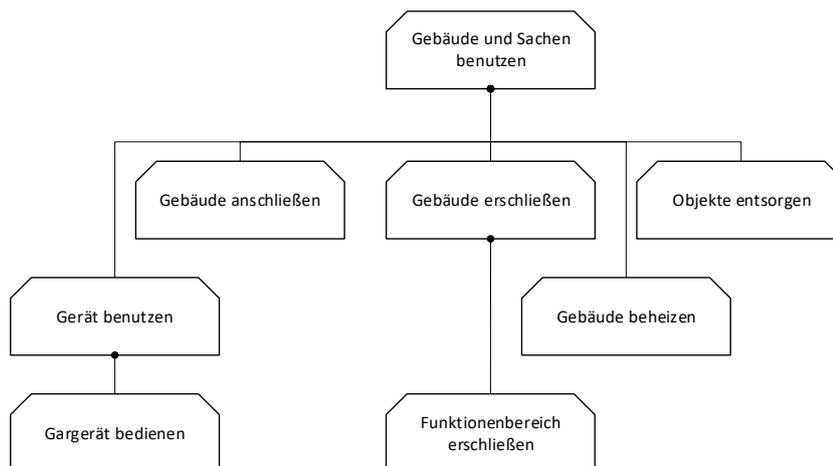
**Abbildung 62: Die hierarchische Nutzungsfunktionsstruktursicht „Speisen zubereiten“, in Anlehnung an (ROHATSCH, LEMME, NEUMANN, & WAGNER, GROSSKÜCHEN, 2002) UND (SCHULZ & WÖLKI, ME-PROJEKTBERICHT AUTOBAHN-RASTSTÄTTE "2000", 2007)**

Abbildung 63 zeigt die Funktionenhierarchie unter der Funktion „Nahrungsmittel garen“.



**Abbildung 63: Die hierarchische Nutzungsfunktionsstruktursicht „Nahrungsmittel garen“ , in Anlehnung an (ROHATSCH, LEMME, NEUMANN, & WAGNER, GROSSKÜCHEN, 2002) UND (SCHULZ & WÖLKI, ME-Projektbericht Autobahn-Raststätte "2000", 2007)**

Neben den obengenannten, primären Bewirtungsfunktionen, kann auch eine Reihe von sekundären Funktionen identifiziert werden. Solche Funktionen sind z.B. „Gebäude erschließen“ und „Gebäude anschließen“ (Abbildung 64).



**Abbildung 64: Die hierarchische Nutzungsfunktionsstruktursicht, in Anlehnung an (ROHATSCH, LEMME, NEUMANN, & WAGNER, GROSSKÜCHEN, 2002) UND (SCHULZ & WÖLKI, ME-Projektbericht Autobahn-Raststätte "2000", 2007)**

## 5.4 Erarbeiten von Taxonomien

Eine Taxonomie mit klar beschriebenen Elementen – Funktionenverben, Funktionenflüssen und anderen Elementen – ist eine Voraussetzung für eine rechnerverarbeitbare Funktionsstruktur. Grundlagen für die Festlegung von Taxonomien sind die Listen von Funktionenverben aus dem vorangehenden Kapiteln, die Hintergrundinformationen zur Großküchenplanung aus der Fachliteratur, sowie die in Kapitel 4 erarbeiteten Konzepte. (Rohatsch, Lemme, Neumann, & Wagner, 2002, S. 107, 117)

Die folgenden Taxonomien können im Gegensatz zu den allgemeinen Taxonomien, die aus der Mechatronik bekannt sind, als projekt- bzw. objektspezifisch angesehen werden. Grund dafür ist die Tatsache, dass es nicht möglich ist, eine allgemeingültige Nutzungsfunktionentaxonomie festzulegen, die für alle Projekt- und Objekttypen ihre Gültigkeit hat.

#### 5.4.1 Taxonomie der Nutzungsfunktionen in der Vor- und Zubereitung

Diese Taxonomie basiert auf der Fachliteratur aus dem Bereich der Großküchenplanung sowie auf den Ergebnissen des Projektes „Autobahnraststätte 2000“. (Rohatsch, Lemme, Neumann, & Wagner, Grossküchen, 2002), (Schulz & Wölki, ME-Projektbericht Autobahn-Raststätte "2000", 2007) Die Taxonomie definiert neben formalen Funktionenbezeichnungen, die im weiteren Verlauf dieser Arbeit verwendet werden, auch einige ergänzende Funktionenbezeichnungen.

- Nahrungsmittel vorbereiten
  - Fleisch vorbereiten
  - Obst und Gemüse vorbereiten
  - Fisch vorbereiten
  - Geflügel vorbereiten
  - Wild vorbereiten
- Nahrungsmittel zubereiten
  - Nahrungsmittel garen
    - Nahrungsmittel backen
    - Nahrungsmittel braten
    - Nahrungsmittel dämpfen
    - Nahrungsmittel druckdämpfen
    - Nahrungsmittel dünsten
    - Nahrungsmittel frittieren
    - Nahrungsmittel garziehen
    - Nahrungsmittel grillen
    - Nahrungsmittel heißluftdämpfen
    - Nahrungsmittel kochen
    - Nahrungsmittel rösten
    - Nahrungsmittel schmoren
  - Nahrungsmittel marinieren
  - Nahrungsmittel räuchern
  - Nahrungsmittel mixen
  - Nahrungsmittel mischen
- Erschließen
  - Horizontal erschließen

- Vertikal erschließen
- Entsorgen
  - Weiß entsorgen
  - Schwarz entsorgen

### 5.4.1.1.1 Taxonomie der Flussobjekte

Die folgende Taxonomie kann für Ein-/Ausgabeobjekte – Funktionenobjekte, welche von den Nutzungsfunktionen verarbeitet werden – verwendet werden:

- Personen
  - Minderjährige
  - Erwachsene
  - Rollstuhlfahrer
- Nahrungsmittel
  - Obst und Gemüse
  - Fleisch
  - Geflügel
  - Fisch
  - Wild
- Speise
  - Warme Speise
  - Kalte Speise
- Abfall
  - Schmutz
  - Ungenießbare Bestandteile
  - Verpackungen

### 5.4.1.1.2 Taxonomie der Realisierungsobjekte – der Funktionenbereiche

Für die Realisierungsobjekte der Nutzungsfunktionen – die abstrakten Funktionenbereiche – kann in Anlehnung an (Rohatsch, Lemme, Neumann, & Wagner, Grossküchen, 2002, S. 18) folgende Taxonomie verwendet werden:

- Funktionenbereich
  - Nutzungsbereich
    - Hauptnutzungsbereich
      - Gästebereich
      - Produktionsbereich
      - Lagerbereich
      - Verkaufsbereich
    - Nebennutzungsbereich
  - Technikbereich

- Ausstattungsbereich
- Verkehrsbereich
  - Rein (“Weiß”)
  - Unrein (“Schwarz”)

#### 5.4.1.1.3 Taxonomie der Produktfunktionen

Für die Produktfunktionen können grundsätzlich verschiedene Taxonomien auf verschiedenen Modellebenen verwendet werden: Allgemeine, kanonische oder spezielle Taxonomien. In dieser Arbeit wird die Taxonomie von (Hirtz, Stone, McAdams, Szykman, & Wood, 2002, S. 73) verwendet, die um die folgenden Elementen erweitert wird:

- Channel
  - Transfer
    - Convect
    - Radiate
    - Contact
    - Condensate

Die vollständige Taxonomie ist für weiterführenden Informationen im Anhang abgebildet.

#### 5.4.1.1.4 Taxonomie der Produktfunktionenobjekte

Zur Modellierung von speziellen Produktfunktionenobjekten wird die entsprechende Taxonomie von (Hirtz, Stone, McAdams, Szykman, & Wood, 2002, S. 72) verwendet, die um folgenden Elementen erweitert wird:

- Material
  - Gas
    - Air
  - Liquid
    - Water
    - Fat
  - Solid
    - Composite
      - Food products (Gargut)

Im Anhang ist für weiterführenden Informationen die vollständige Taxonomie abgebildet.

## 5.5 Erarbeiten teleologischer Nutzungsfunktionenstruktursichten

Während die vorangehenden Kapitel eine größere Bandbreite an Funktionen der Autobahnraststätte behandeln, wird im weiteren Verlauf der Arbeit der Fokus auf den Nutzungsfunktionen der Nahrungsmittelvorbereitung und –Zubereitung gelegt, um eine detailliertere Untersuchung dieser Nutzungsfunktionen und der mit ihnen zusammenhängenden Entwurfsobjekten zu ermöglichen.

Abbildung 65 und Abbildung 66 zeigen eine teleologische Sicht auf die Nutzungsfunktionenstruktur der Vorbereitung. Der Untersuchungsbereich wird so gewählt, dass die Nutzungsfunktionen „Fleisch vorbereiten“, „Obst und Gemüse vorbereiten“ usw. als Hauptfunktionen auf der linken Seite der Diagramme zu sehen sind.

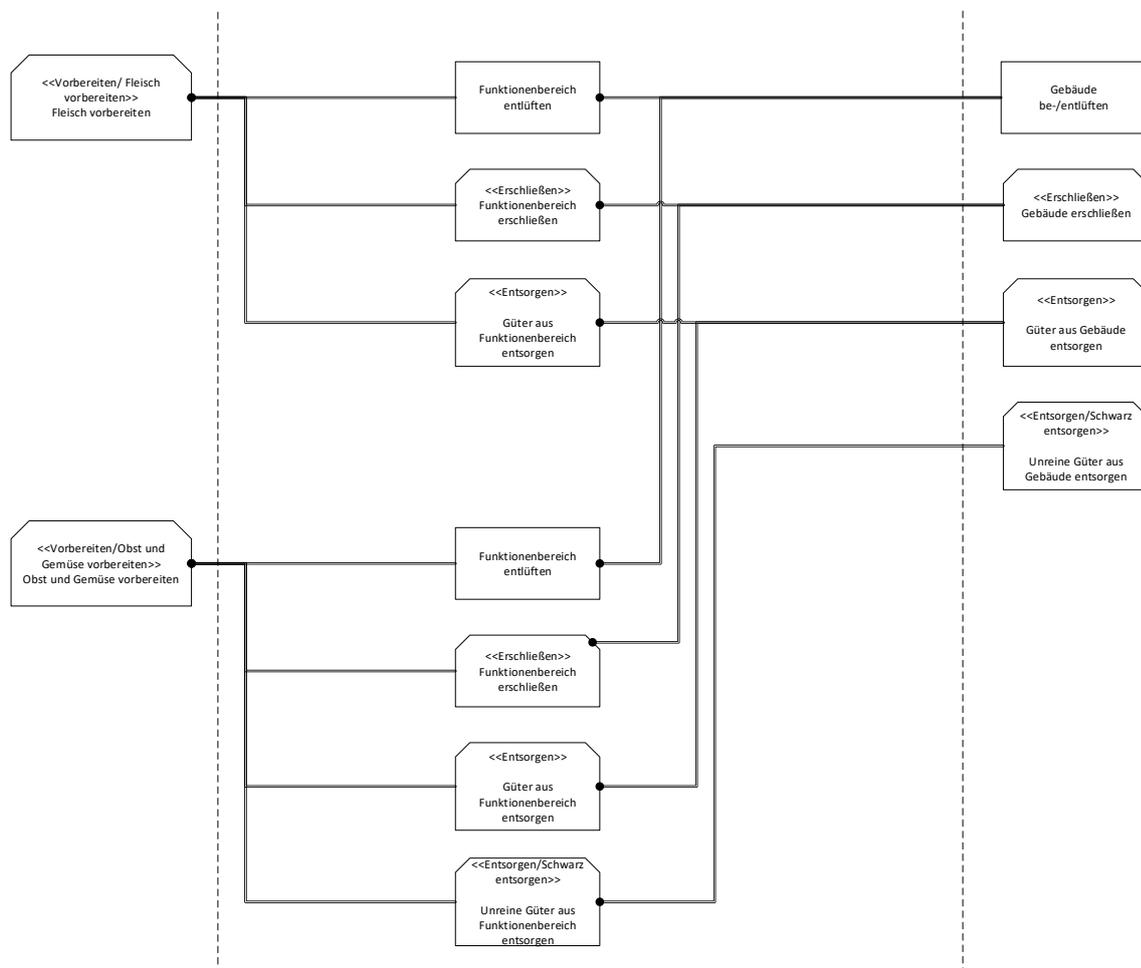
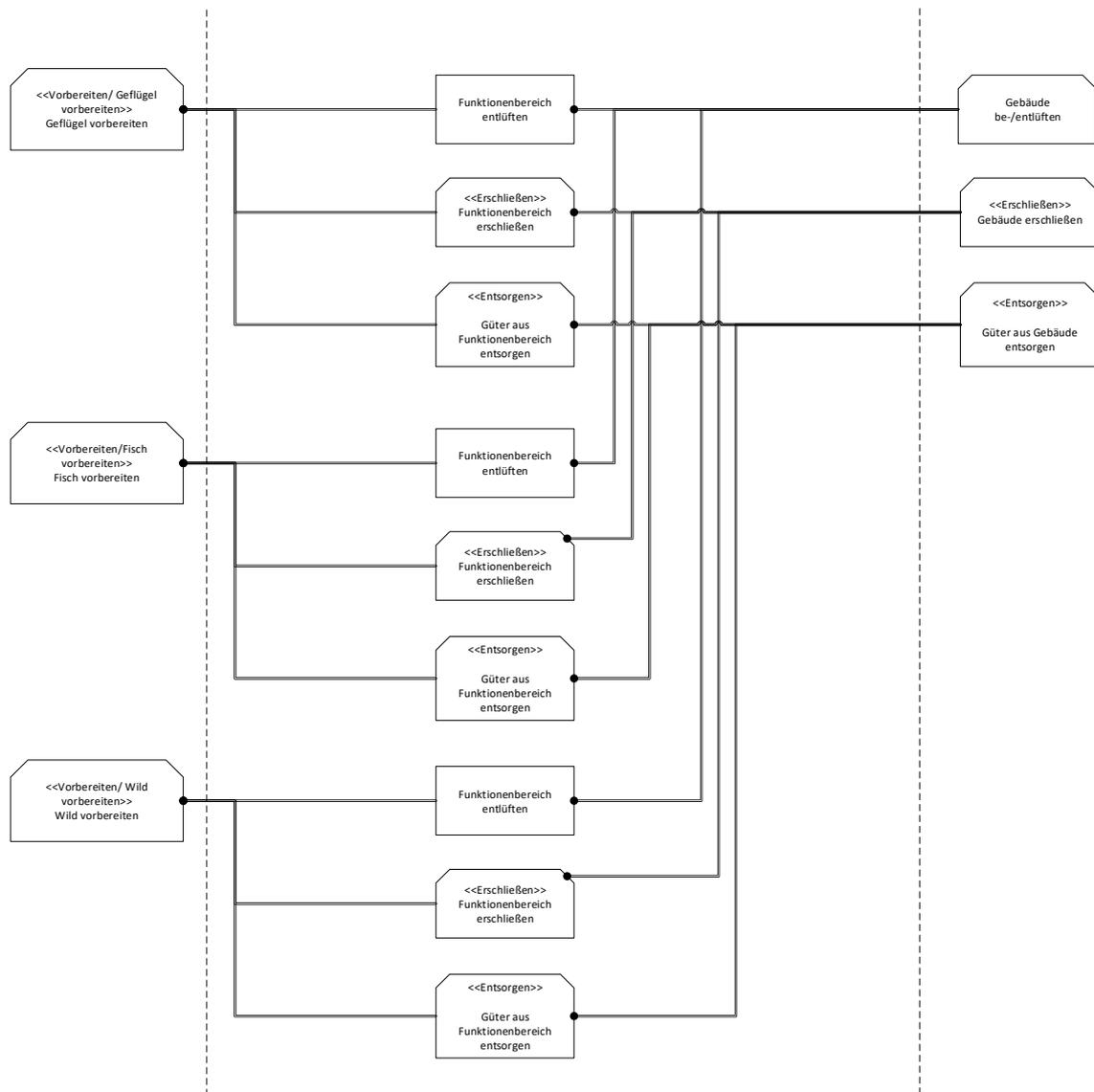


Abbildung 65: Teleologische Funktionenstruktursicht der Vorbereitung (ausgewählte Funktionen)– Teil 1

Weiter rechts sind ihre Folgefunktionen zu finden. Darunter sind sowohl Nutzungs- als auch Produktfunktionen zu finden. Während das Objekt gewiss eine Palette von weiteren Produktfunktionen wie z.B. die Handhabung von Fluiden (Wasser, Abwasser, Gas etc.), die Beleuchtung, die Kühlung usw. erfüllen muss, werden sie hier nicht vollständig erfasst und erarbeitet, da dies den Rahmen dieses Beispiels sprengen würde. Es werden stattdessen ausgewählte Funktionen behandelt, die zum besseren Verständnis des Funktionsmodellierungskonzeptes beitragen.

Eine wichtige Klasse von sekundären Funktionen sind die Erschließungsfunktionen. Diese sind eine Voraussetzung dafür, dass die eigentlichen Nutzungsfunktionen wie „Obst und Gemüse vorbereiten“ von den entsprechenden Nutzern ausgeführt werden können. Während in der hierarchischen Sicht die Nutzungsfunktion „Funktionsbereich erschließen“ ein Teil der Nutzungsfunktion „Gebäude erschließen“ ist, sind die Verhältnisse in der teleologischen Sicht genau umgekehrt – die Erschließung der einzelnen Bereiche ist der Zweck der Erschließung des Gebäudes.



**Abbildung 66: Teleologische Funktionenstruktursicht der Vorbereitung (ausgewählte Funktionen)- Teil 2**

Abbildung 67 zeigt die teleologische Nutzungsfunktionenstruktursicht der Zubereitungsfunktionen. Da die Zubereitung aus technischer Sicht wesentlich aufwändiger ist, sind als Folgefunktionen der Hauptfunktionen entsprechende Produktfunktionen festgelegt. Die zusätzliche Komplexität äußert sich unter anderem in der zusätzlichen, zweiten Ebene von Folgefunktionen.

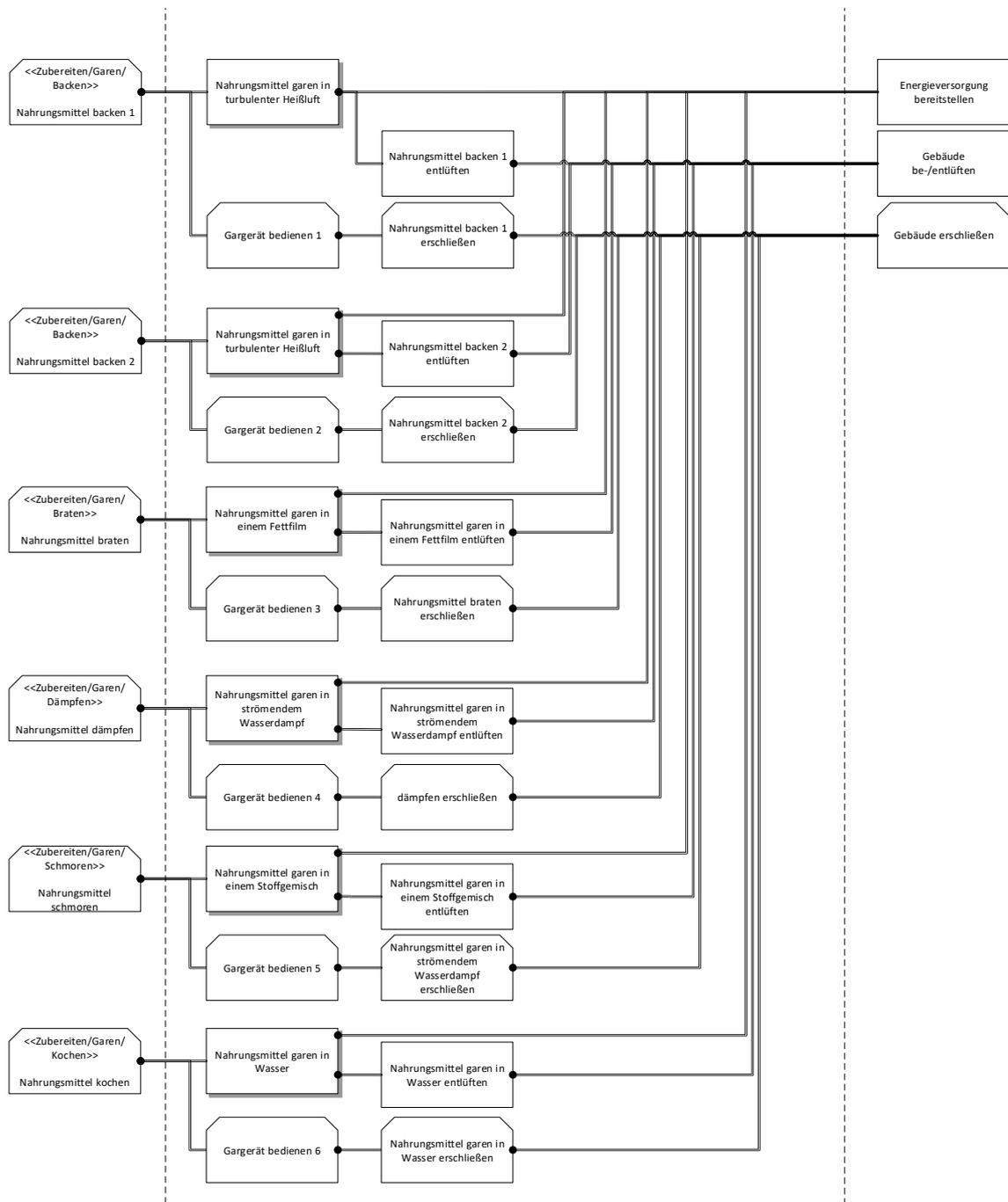


Abbildung 67: Teleologische Nutzungsfunktionsstruktursicht der Zubereitung (ausgewählte Funktionen)

Zu den Nutzungsfunktionen der einzelnen Garverfahren gehören als Folgefunktionen unter anderem Produktfunktionen, welche die technischen Voraussetzungen zur Durchführung der Garverfahren realisieren. So gehört z.B. zur Nutzungsfunktion „Nahrungsmittel Dämpfen“ die Produktfunktion „Nahrungsmittel garen in strömendem Wasserdampf“. Die Zuordnung der benötigten technischen Voraussetzungen zu

den entsprechenden Garverfahren stammt aus der Fachliteratur (siehe (Rohatsch, Lemme, Neumann, & Wagner, Grossküchen, 2002, S. 117))

## 5.6 Entwicklung von Varianten ausgehend von der Nutzungsfunktionenstruktur und der Struktur der abstrakten Funktionenbereiche

Varianten können auf verschiedene Modellebenen erarbeitet werden – Nutzungs- und Produktfunktionen, sowie abstrakte Funktionenbereiche. Dabei können sowohl die Entwurfsobjekte als auch die Zuordnungen zwischen den verschiedenen Modellebenen variiert werden.

Das Nutzungskonzept einer Einrichtung der Außer-Haus-Wirtschaft ist maßgeblich für die Planung. In den folgenden Kapiteln wird anhand mehrerer Beispiele dargestellt, wie sich verschiedene Konzepte auf den Nutzungsfunktionen und den zugehörigen Funktionenbereichen auswirken. Dabei wird der Fokus systematisch auf verschiedenen Modellebenen gelegt. Zunächst werden die Nutzungsfunktionen- und Funktionenbereichsstrukturen der Gasträume zusammen mit der Großküche betrachtet. Danach wechselt der Fokus zu einer detaillierteren Betrachtung der Vorbereitungsfunktionen der Großküche. Dadurch wird veranschaulicht, wie Zielkonzepte in Funktionenmodelle einfließen können und wie diese Funktionenmodelle erarbeitet und weiter konkretisiert werden können.

### 5.6.1 Erste Konzeptvariante: Konventionell – Gastbereich mit Service

Abbildung 68 bis Abbildung 72 zeigen die Nutzungsfunktionenstruktur und die Funktionenbereichsstruktur einer konventionellen Konzeptvariante. Die Nutzungsfunktionenstruktur ist aus präsentationstechnischen Gründen aufgeteilt in drei Abbildungen, wobei Abbildung 68 den ersten Teil der Nutzungsfunktionenstruktur darstellt. Die Nutzungsfunktionen und deren Ein-/Ausgabeobjekte werden in der Übersichtsdarstellung gezeigt (Funktionenobjekte als Linien mit Überschriften). Die Funktionenbereiche (Realisierungsobjekte der Funktionen) werden als abgerundete Rechtecke dargestellt, wobei derselbe Funktionenbereich auf einem Diagramm an verschiedenen Stellen erscheinen kann, um die Darstellung übersichtlicher zu gestalten.

Die Funktionenbereiche werden aus der Funktionenstruktur abgeleitet und in einer Funktionenbereichsstruktur zusammengeführt, welche die räumlichen Beziehungen zwischen den Funktionenbereichen darstellt. Abbildung 71 und Abbildung 72 zeigen verschiedene Hierarchieebenen dieser Funktionenbereichsstruktur.

Im Gastbereich mit Service wird das Speiseangebot präsentiert, der Kunde bestellt die gewünschten Speisen (ggf. auch Getränke, die aber in diesem Beispielszenario zur Vereinfachung der Darstellung nicht modelliert werden), und das Servicepersonal tätigt eine drahtlose Übertragung der bestellten Speisen von demselben Funktionsbereich aus.

Zur Aufnahme und Übertragung der Kundenbestellungen werden MDEs (Mobile Datenerfassungseinheiten) eingesetzt. Diese Handhelds übertragen die Bestellungen drahtlos vom Gastbereich in die Küche. Die MDEs erfordern zwar anfangs höhere Investitionskosten, können aber später zu erheblichen Einsparungen verhelfen (Rohatsch, Lemme, Neumann, & Wagner, Grossküchen, 2002).

Hierbei soll beachtet werden, dass die Reichweite und Qualität der drahtlosen Übertragung von der Funkdurchlässigkeit der Wände abhängig ist. In Abbildung 68 ist das mittels einer Forderung modelliert, die mit der Funktion „Bestellung drahtlos übertragen“ verknüpft ist. Modellierungsobjekte wie diese Forderung können unter anderem für automatische Konsistenzüberprüfungen benutzt werden, vorausgesetzt, dass entsprechende Softwarewerkzeuge mit Verknüpfungen zu weiteren Teilmodellen auf Grundlage dieser Arbeit implementiert werden.

Die Speisenplanung sowie die Funktionen, welche mit der Bestellung der Speisen verbunden sind, bilden eine informationsverarbeitende Funktionskette. Neben dieser Kette ist eine Zweite zu erkennen, welche stoffliche Funktionenobjekte verarbeitet. Als Eingabeobjekt für den stofflichen Funktionenfluss dienen die nicht vorbereiteten Nahrungsmittel, die im Anlieferungsbereich geliefert werden. Diese werden gelagert und zur Vorbereitung weitergereicht.

Abbildung 69 zeigt den zweiten Teil der Funktionsstruktur. Hier wird die Bestellung des Kunden im Funktionsbereich „Küche“ elektronisch verarbeitet. Daraus werden Informationen für die Vor- und Zubereitung abgeleitet, die entsprechend angezeigt werden. Ferner wird aus den Bestellungsdaten die Rechnung generiert, die drahtlos übertragen wird und vom Kunden im Service-Bereich bezahlt wird.

Die nicht vorbereiteten Nahrungsmittel werden im Funktionsbereich „Küche“ vorbereitet und zu Speisen verarbeitet. Die Vor- und Zubereitungsfunktionen werden von der Bestellung des Kunden gesteuert, die vom Verkaufsbereich (Service-Gastbereich) drahtlos übertragen wird.

Die Fachliteratur zur Großküchenplanung (Rohatsch, Lemme, Neumann, & Wagner, Grossküchen, 2002) empfiehlt eine Sichtbeziehung zwischen den Zubereitungsfunktionen und der Küchenleitungsfunktionen, so dass stets eine visuelle Kontrolle stattfinden kann. Eine entsprechende Sichtbeziehung besteht zwischen den Funktionen

„Speisen zubereiten“ und „Zubereitung kontrollieren“ in Abbildung 69. Diese Funktionen werden von den Bereichen „Küche“ und „Küchenchefbüro“ realisiert.

Sichtbeziehungen sind Austauschbeziehungen zwischen Funktionen, wobei visuelle Information das Austauschobjekt ist. Vorausgesetzt, dass entsprechende Softwarewerkzeuge zur Funktionsmodellierung und -Analyse implementiert werden, können die so modellierten Beziehungen für automatische Konsistenzprüfungen der Funktionsstruktur und weiterer integrierter Teilmodelle, z.B. CAD-Modelle, dienen.

In Abbildung 70 werden die Kunden mit den zubereiteten Speisen bedient. Diese Funktion wird vom Servicepersonal in einem angegebenen Zeitkontext in den Bereichen „Küche“ und „Service-Gastbereich“ ausgeführt. Im Service-Gastbereich werden die Speisen in einem bestimmten Zeitkontext verzehrt, wobei die Nutzer wie im Projekt „Autobahnraststätte 2000“ (Schulz & Wölki, Autobahnraststätte "2000" Objektmatrix Teil 1 Gastorientierter Bereich, 2016) als Frauen, Männer und Kinder angegeben sind.

Im Bereich „Kinderspielecke“ können parallel zur Speisenverzehrung Kinder spielen. Das setzt eine Sichtbeziehung zwischen beiden Funktionen voraus, die in Abbildung 70 modelliert ist. Die Verzehrung der Speisen hat als Ausgabeobjekte Schmutzgeschirr und Reste. Das Schmutzgeschirr wird vom Servicepersonal vom Service-Gastbereich in den Bereich der Küche zurückgegeben. Die Reste werden vom Servicepersonal in den Wirtschaftsbereich entsorgt.

In dieser Nutzungsfunktionsstruktur sind der Funktionsbereich „Küche“ sowie die Funktionen „Nahrungsmittel vorbereiten“ und „Speisen zubereiten“ schattiert dargestellt. Damit werden sie als Gruppierungen gekennzeichnet. Diese Gruppierungen werden im weiteren Verlauf der Verifikation vertieft und in größerem Detail behandelt.

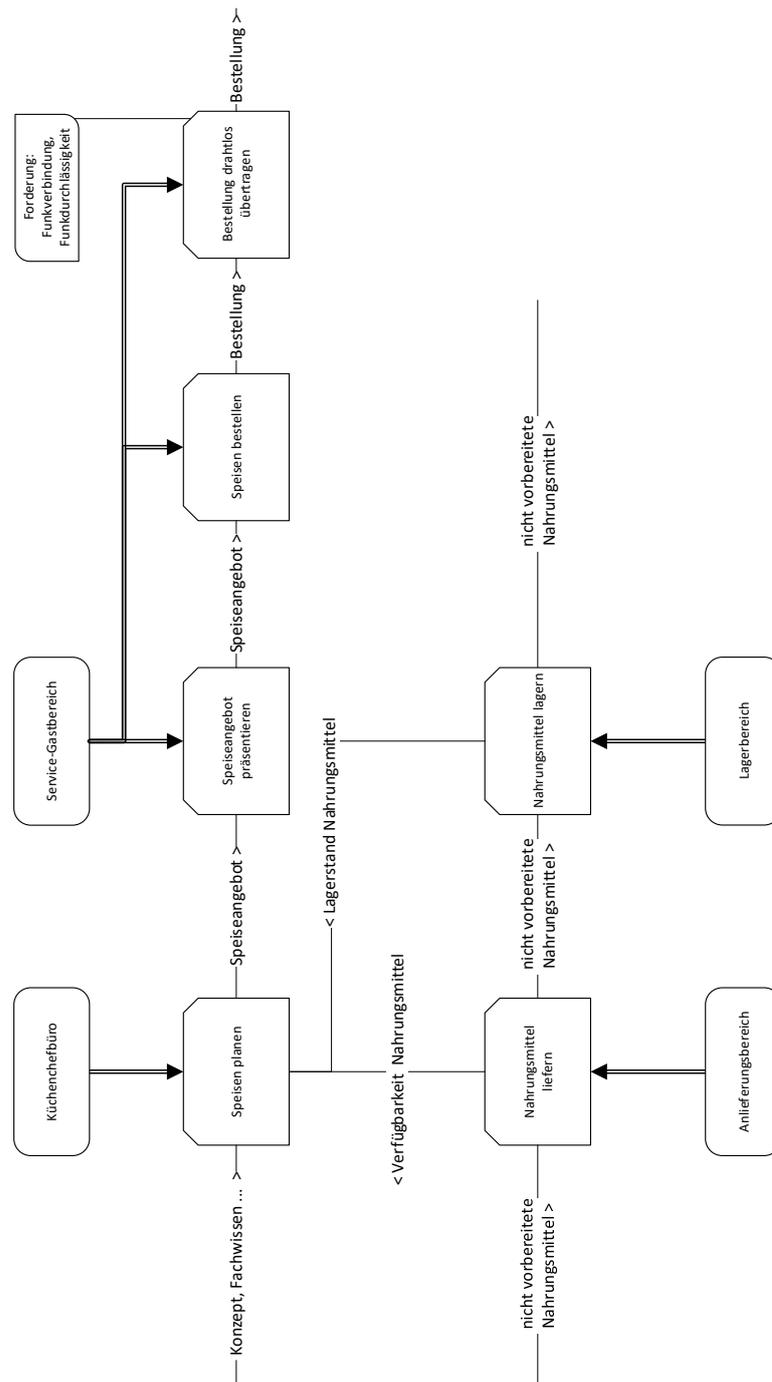


Abbildung 68: Nutzungsfunktionenstruktur der ersten Konzeptvariante, Teil 1

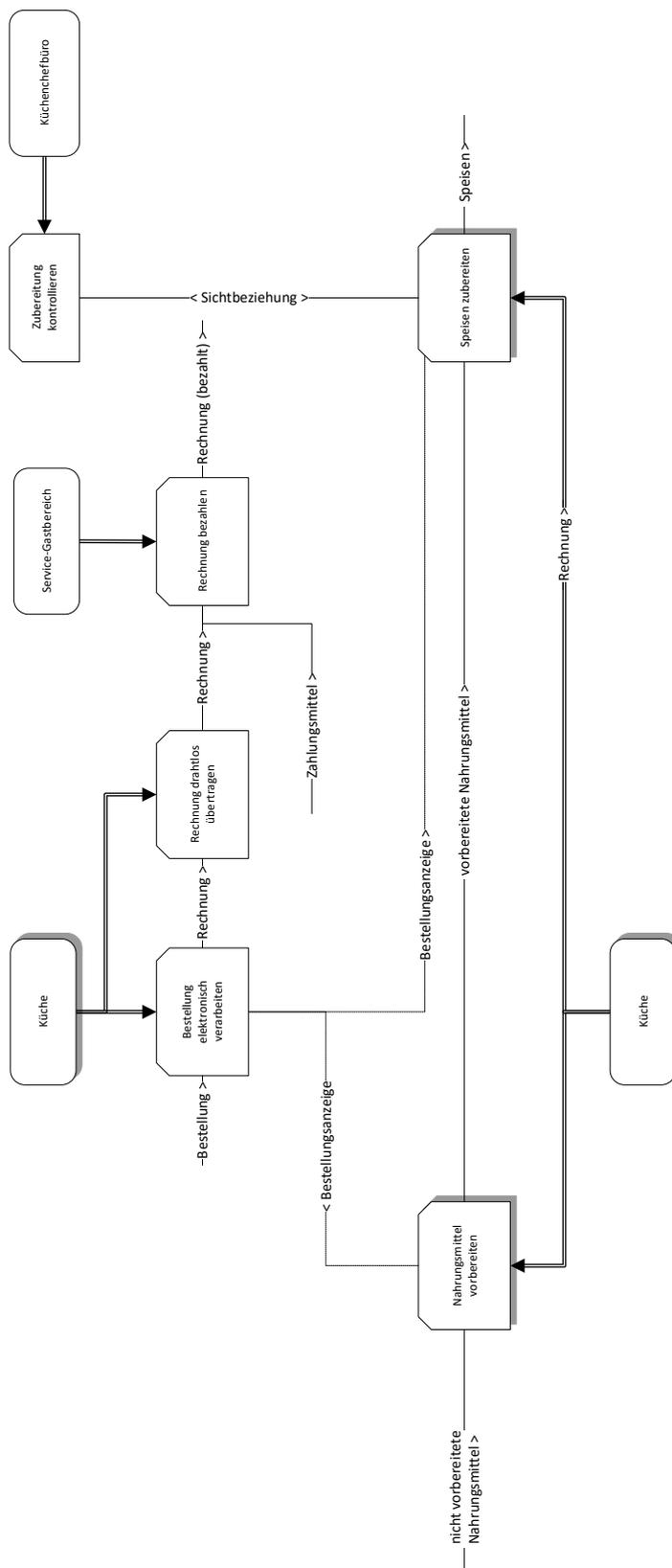


Abbildung 69: Nutzungsfunktionenstruktur der ersten Konzeptvariante, Teil 2

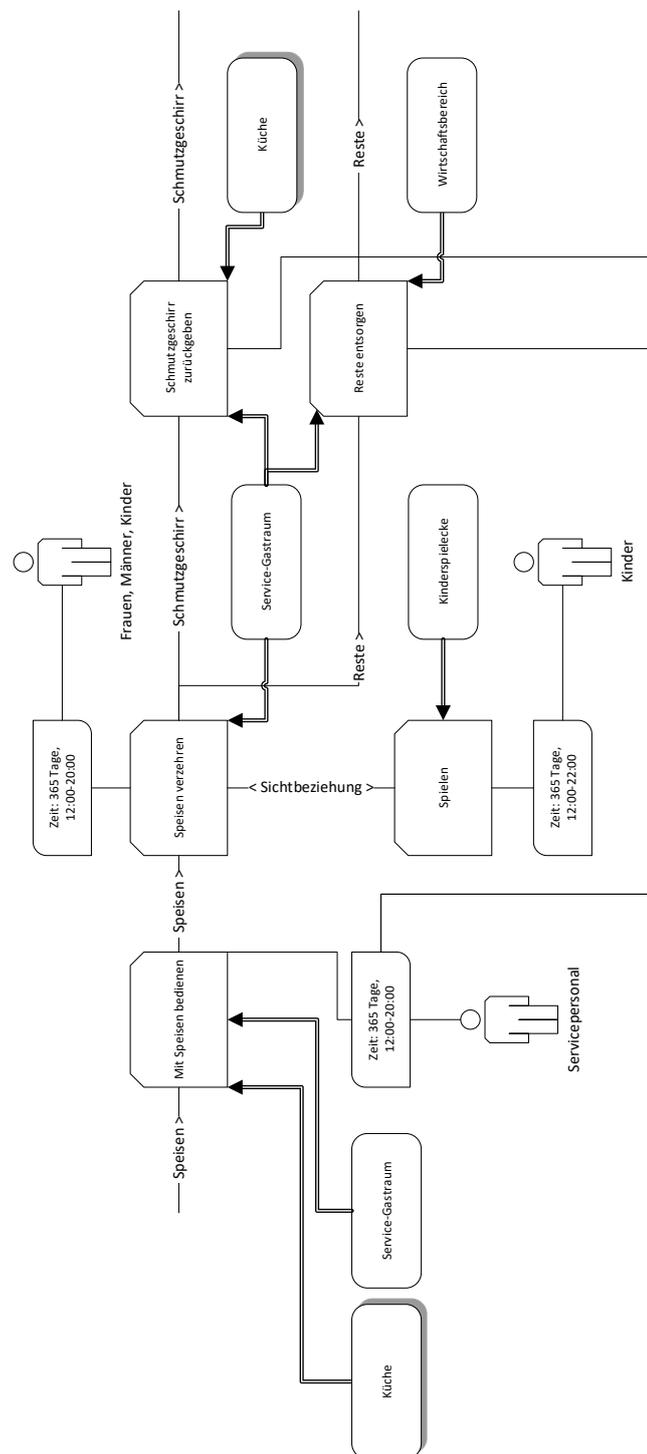


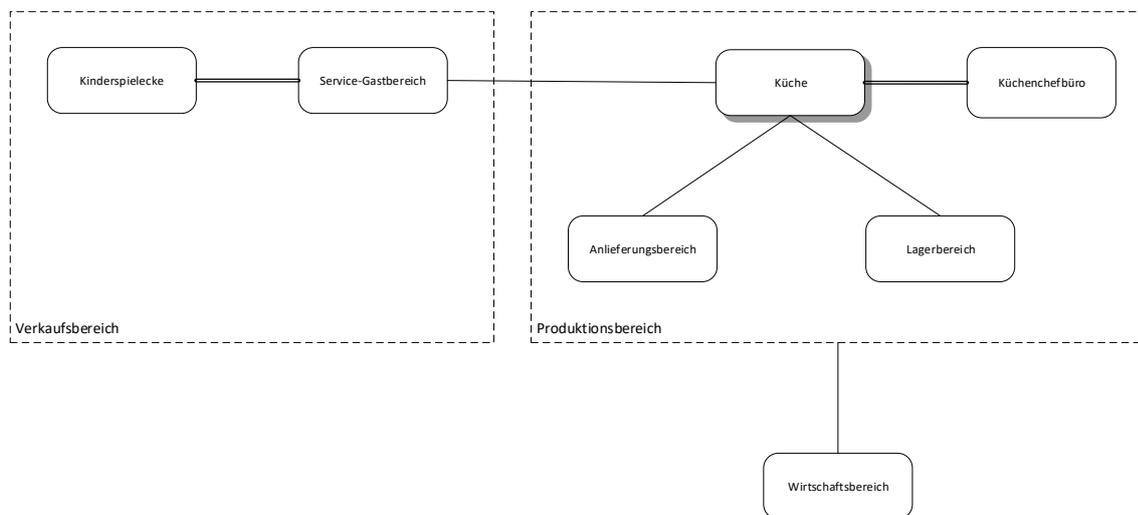
Abbildung 70: Nutzungsfunktionsstruktur der ersten Konzeptvariante, Teil 3

Während die Funktionenstruktur den Fokus auf den Funktionsflüssen bzw. auf den Verknüpfungen der Funktionen setzt, zeigen die Funktionsbereichsstrukturen in

Abbildung 71 und Abbildung 72 die Verknüpfungen der Funktionsbereiche untereinander. Die Funktionsbereiche selbst ergeben sich aus dem Bedarf der Funktionen an Realisierungsobjekten. Ihre Beziehungen ergeben sich aus den Beziehungen der entsprechenden Funktionen bzw. aus dem Funktionsfluss. Beide Strukturen – Funktionsstruktur und Funktionsbereichsstruktur – hängen eng zusammen.

Die Funktionsbereiche sind in einer hierarchischen Struktur organisiert, die aus dem Projekt „Autobahnraststätte 2000“ übernommen wurde (Schulz & Wölki, Autobahnraststätte "2000" Objektmatrix Teil 1 Gastorientierter Bereich, 2016), (Schulz & Wölki, Autobahnraststätte "2000" Objektmatrix Teil 2 Personalorientierter Bereich, 2016) und (Schulz & Wölki, Autobahnraststätte "2000" Objektmatrix Teil 3 Betriebsorientierter Bereich, 2016).

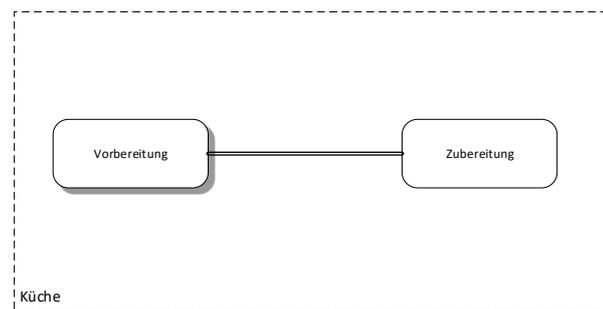
Der Service-Gastbereich ist räumlich integriert mit der Kinderspielecke. Beide befinden sich im Verkaufsbereich. Im Produktionsbereich befindet sich die Küche, die mit dem Küchenchefbüro räumlich integriert ist und räumliche Verbindungen zum Anlieferungs- und zum Lagerbereich hat. Die Küche ist zudem mit dem Service-Gastbereich räumlich verbunden. Der Produktionsbereich hat eine räumliche Verknüpfung zum Wirtschaftsbereich. Der Funktionsbereich Küche ist durch die schattierte Darstellung als Gruppierung gekennzeichnet und wird im Folgenden detaillierter betrachtet.



**Abbildung 71: Funktionsbereichsstruktur der ersten Konzeptvariante – Verkaufsbereich und Produktionsbereich**

Die Küche enthält zwei weitere Bereiche: Vorbereitung und Zubereitung, die ebenfalls aus der Funktionsstruktur stammen. Die Vorbereitung ist schattiert dargestellt, da sie eine Gruppierung darstellt. Diese Funktionengruppierung wird im weiteren Verlauf der Verifikation weiterentwickelt.

Eines der Ziele bei der Planung einer Einrichtung der Außer-Haus-Wirtschaft ist es, das Verhältnis zwischen den Verkaufs- und Produktionsbereichen zu optimieren, wobei aus wirtschaftlichen Gründen eine Reduktion des Produktionsbereichs und eine Vergrößerung des Verkaufsbereichs zu bevorzugen sind. Der weitere Verlauf der Verifikation zeigt verschiedene Möglichkeiten für eine funktionenorientierte Optimierung.



**Abbildung 72: Funktionsbereichsstruktur der ersten Konzeptvariante - Küche**

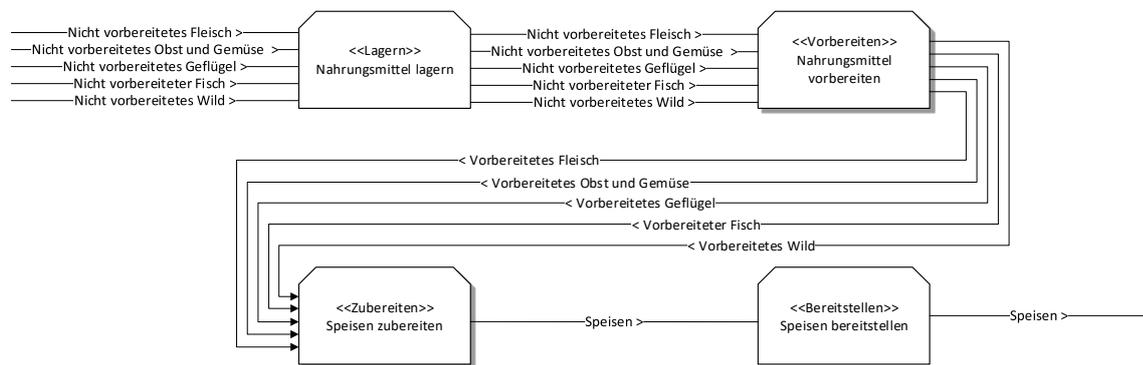
Eine zentrale Stellung im Produktionsbereich nimmt die Küche ein. Diese beinhaltet die Funktionsbereiche für die Nahrungsmittelvorbereitung und für die Speisenzubereitung, welche die Kernfunktionen der Küche aufnehmen und den größten Flächenbedarf aufweisen (Rohatsch, Lemme, Neumann, & Wagner, Grossküchen, 2002, S. 116). Dementsprechend birgt die Planung der Vorbereitungs- und Zubereitungsfunktionen ein verhältnismäßig großes Optimierungspotential. In den folgenden Kapiteln werden zunächst die Vorbereitungs- und dann die Zubereitungsfunktionen und deren entsprechenden Funktionsbereiche einem modellbasierten Optimierungsprozess unterzogen.

#### 5.6.2 Erste Variante der Vorbereitungsfunktionen: klassische, „französische“ Vorbereitung

Das Konzept einer „französischen“ Küche, das in der Regel für gehobeneren Restaurants üblich ist, erfordert, dass alle fünf Vorbereitungsfunktionen umgesetzt werden (siehe Kapitel 5.1.2). Einerseits erfordert die aufwändigere Vorbereitung mehr Geschick und höhere Qualifikation des Küchenpersonals. Andererseits werden zur Ausführung aller fünf Vorbereitungsfunktionen entsprechende Funktionsbereiche benötigt – der Flächenbedarf steigt. Dementsprechend führt dieses Konzept zu höheren Kosten.

5.6.2.1 Erarbeiten der Nutzungsfunktionsflussstruktursicht

Abbildung 73 zeigt die nächste Detaillierungsstufe der Flussstruktursicht der Nutzungsfunktionen, die hierarchisch unter der Funktion „Speisen bereiten“ eingegliedert sind – „Nahrungsmittel lagern“, „Nahrungsmittel vorbereiten“, „Speisen zubereiten“ und „Speisen zur Ausgabe bereitstellen“. Diese Funktionenstruktursicht wird in der Übersichtsdarstellung gezeigt. Das Funktionsobjekt „nicht vorbereitete Nahrungsmittel“ wurde in fünf Funktionsobjekte ausdetailliert, die von der Funktionsgruppierung „Nahrungsmittel vorbereiten“ verarbeitet und an „Nahrungsmittel zubereiten“ weitergereicht werden.



**Abbildung 73: Übersichtsdarstellung der Nutzungsfunktionsflussstruktursicht „Speisen bereiten“ (ausgewählte Funktionen), Variante 1**

Abbildung 74 zeigt die Funktionsgruppierung „Nahrungsmittel vorbereiten“ in der Detaildarstellung. Hier ist jede einzelne Vorbereitungsfunktion zu sehen, mit den entsprechenden Ein-/Ausgabeobjekte. Die Ausgabeobjektgruppierungen „Vorbereitetes Fleisch“, „Vorbereitetes Obst und Gemüse“ usw. werden an die Funktion „Speisen zubereiten“ weitergereicht, wie aus Abbildung 73 ersichtlich wird. Manche Ausgabeobjekte machen Sekundärfunktionen zu ihrer Verarbeitung erforderlich wie z.B. Abfälle und Schmutz(siehe Abbildung 65 und Abbildung 66).

Darüber hinaus sind die Realisierungsobjekte – die Funktionsbereiche – abgebildet, welche die Funktionen aufnehmen. Da in der klassischen französischen Küche jeweils ein Funktionsbereich pro Vorbereitungsfunktion erforderlich ist, muss hier jede Funktion einen entsprechenden Bereich als Realisierungsobjekt referenzieren.

## Entwicklung von Varianten ausgehend von der Nutzungsfunktionsstruktur und der Struktur der abstrakten Funktionsbereiche

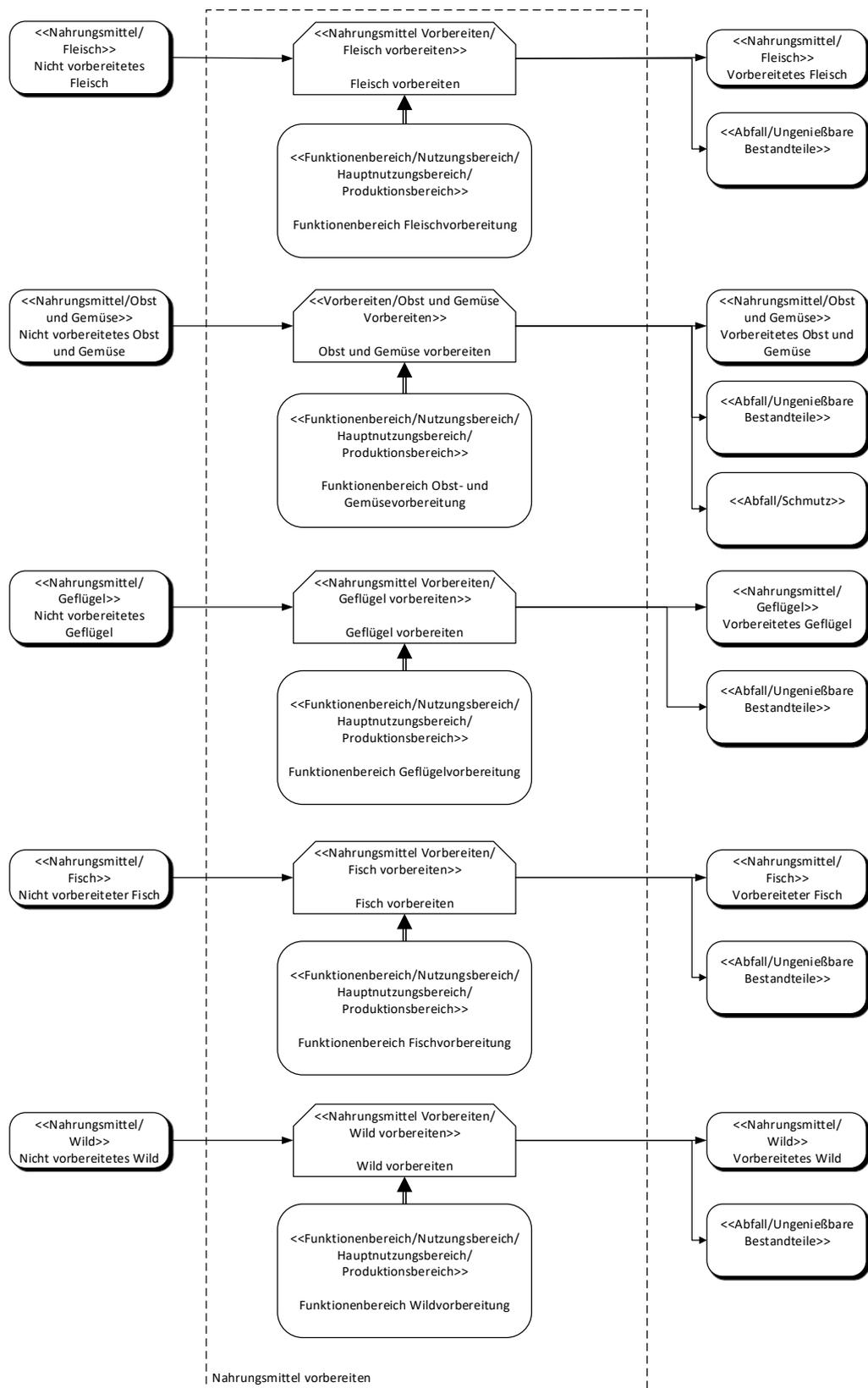


Abbildung 74: Nutzungsfunktionsflussstruktursicht Nahrungsmittel vorbereiten, Variante 1

In Abbildung 75 und Abbildung 76 werden die Funktionen „Fleisch vorbereiten“ und „Obst und Gemüse vorbereiten“, die als beispielhafte Vorbereitungsfunktionen dargestellt sind, um Kontextobjekte erweitert – Nutzer, Zeitkontext, Forderungen und Wirkungen. Das Tripel von Nutzer, Zeitkontext und Realisierungsobjekt (abstrakter Funktionenbereich) legt fest, wer zu welcher Zeit an welchem Ort die Funktion ausführt.

Mittels Forderungen wird unter anderem ausgedrückt, dass Vorbereitungsfunktionen eine Unverträglichkeit zu manchen Erschließungsfunktionen haben, oder dass die Vorbereitung von Obst und Gemüse einen direkten Anschluss an einer Funktion des Typs „Unreine Stoffe transportieren“ erfordert (siehe Kapitel 5.1.2). Eine Softwareimplementierung, z.B. in der Form einer Regelbasis, einer Ontologie oder eines Machine Learning Algorithmus, wäre in der Lage, basierend auf diesen Informationen, automatisierte Konsistenzchecks der Modelle durchzuführen und fehlende oder fehlerhafte Verknüpfungen zu identifizieren.

Darüber hinaus kann mittels Forderungen der Flächenbedarf einer Funktion modelltechnisch ausgedrückt werden. Für die Zwecke des folgenden Rechenbeispiels wurde angenommen, dass jede der Vorbereitungsfunktionen eine Fläche von 20 m<sup>2</sup> von ihrem jeweiligen Funktionenbereich fordert. Flächenforderungen (sowie andere Forderungsklassen) können mit Hilfe der teleologischen Struktursicht detailliert untersucht werden (siehe Kapitel 4.10.2). Weitere Beispiele sind im Kapitel 5.7 zu finden.

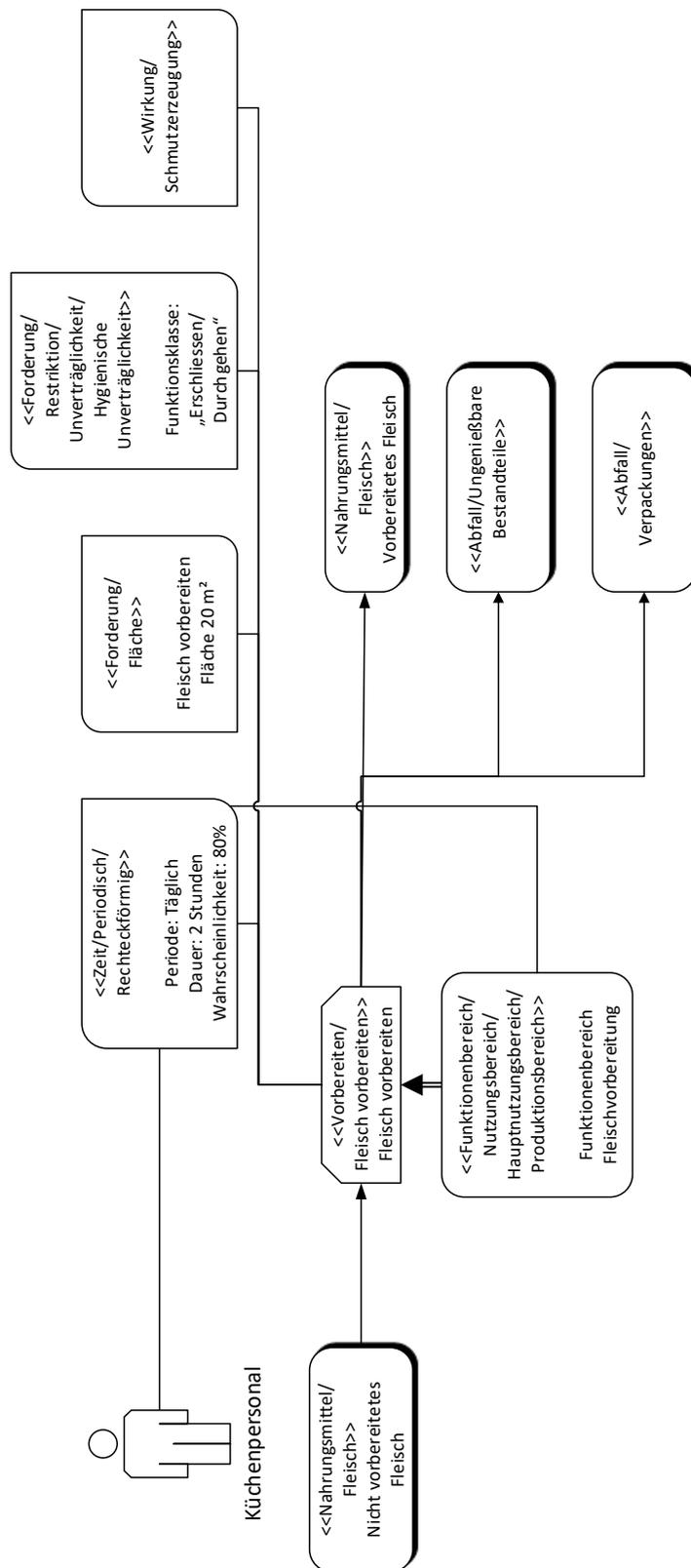


Abbildung 75: Funktion Nutzungsfunktion „Fleisch vorbereiten“ mit Funktionenkontext

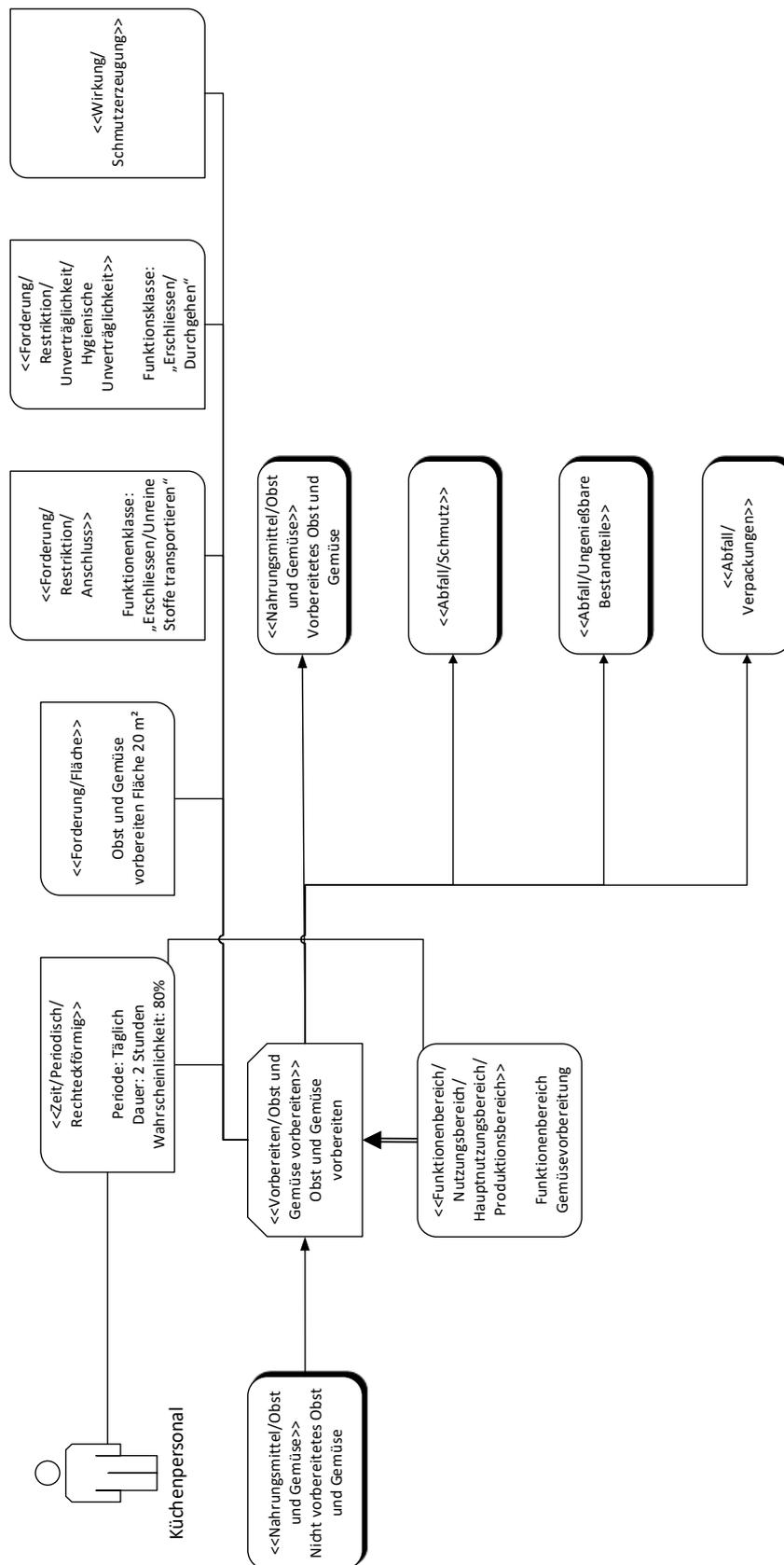


Abbildung 76: Nutzungsfunktion "Obst und Gemüse vorbereiten" mit Funktionenkontext

### 5.6.2.2 Erarbeiten der Struktur der abstrakten Funktionenbereiche

Abbildung 77 zeigt die Struktur der abstrakten Funktionenbereiche, welche der Funktionenstruktursichten der Variante 1 entspricht. Die fünf Funktionenbereiche der Vorbereitungsfunktionen sind räumlich integriert. Das wird durch die entsprechenden Beziehungen dargestellt.

Der Gruppierungskasten „Vorbereitung“ zeigt, dass diese Funktionenbereiche im Bereich „Vorbereitung“ untergebracht sind, macht aber keine Aussage über die Qualität der Beziehungen der Funktionenbereiche untereinander. Jeder Funktionenbereich hat entsprechend der Flächenforderungen (siehe vorheriges Kapitel) nun eine Flächengrößenangabe von 20 m<sup>2</sup> bekommen. Die gesamte erforderliche Fläche beträgt somit 100 m<sup>2</sup>.

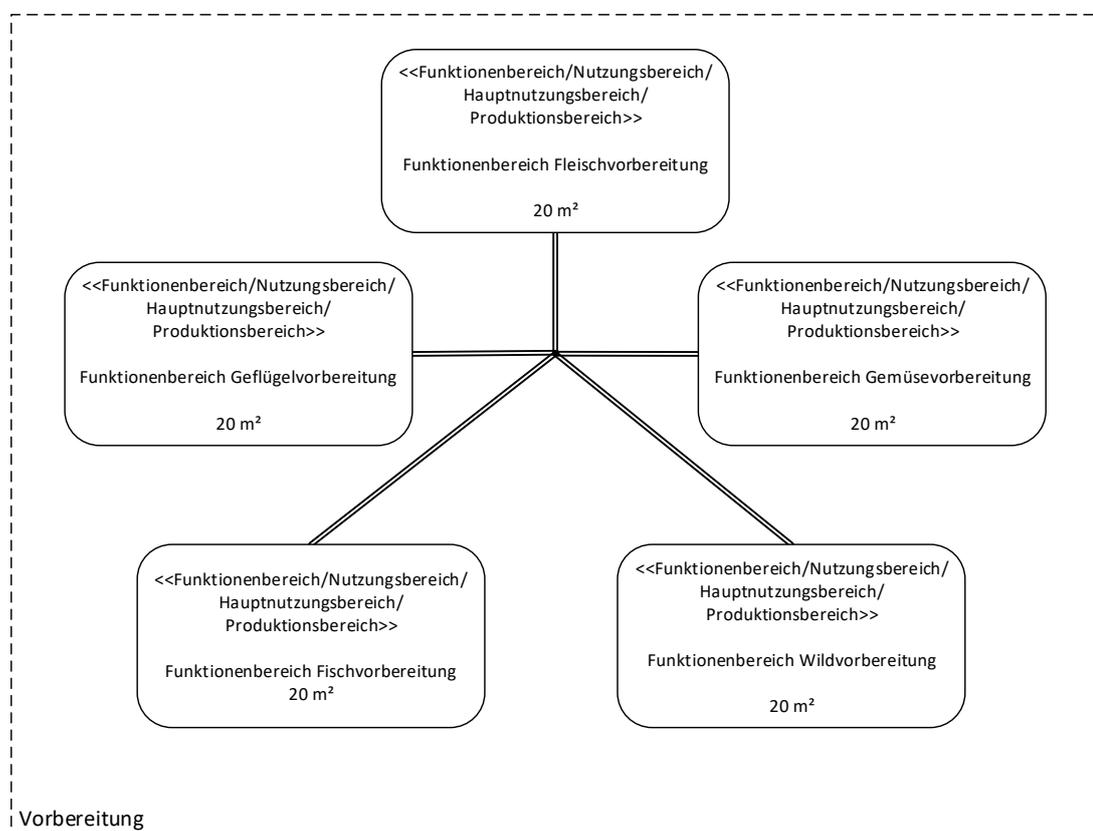


Abbildung 77: Struktur der abstrakten Funktionenbereiche, Variante 1

### 5.6.3 Zweite Konzeptvariante: Selbstbedienung mit Free-Flow

Free-Flow-Anlagen sind Blickfänge und entwickeln sich immer mehr zu Gäste-Magneten (Rohatsch, Lemme, Neumann, & Wagner, Grossküchen, 2002, S. 156, 160). Als Zweite Variante des Konzeptes wird deshalb eine Einrichtung mit Selbstbedienung und mit einer Free-Flow-Anlage entwickelt (siehe Abbildung 78 bis Abbildung 83).

Im Unterschied zum ersten Konzept, werden die steuernden Informationen über den Speiseplan von der Planung direkt an die Vor- und Zubereitung weitergegeben, da in diesem Konzept keine explizite Kundenbestellung stattfindet. Das Speiseangebot wird im Free-Flow-Bereich präsentiert. Das Speiseangebot liefert steuernden Informationen an die Funktion „Mit Speisen selbstbedienen“.

Die Speisen zur Selbstbedienung werden vom Servicepersonal unter Verwendung der Bereiche „Küche“ und „Free-Flow“ bereitgestellt (siehe Abbildung 79). Die Selbstbedienung stellt besondere Anforderungen an die Beleuchtung, da über die Beleuchtung sich die Raumatmosphäre nachhaltig beeinflussen lässt und verkaufsfördernde psychologischen Wirkungen bei den Gästen ausgelöst werden können. Das bedeutet unter anderem, dass eine höhere Beleuchtungsstärke für die Selbstbedienungsanlage erforderlich ist, was durch die modellierte Forderung einer vorgegebenen Beleuchtungsstärke gekennzeichnet ist (Rohatsch, Lemme, Neumann, & Wagner, Grossküchen, 2002, S. 161).

Die Bezahlung der Speisen erfolgt beim Selbstbedienungskonzept im Free-Flow-Bereich. Nach erfolgter Bezahlung werden die Speisen in den SB-Gastbereich verzehrt (siehe Abbildung 80). Ähnlich wie im Service-Konzept kann die Funktion „Spielen“ ausgeführt werden, wobei eine Sichtbeziehung zu der Funktion „Speisen verzehren“ besteht. Im Unterschied zum Service-Konzept werden hier Schmutzgeschirr und Reste im Free-Flow-Bereich von Frauen, Männer und Servicepersonal deponiert.

Die Funktionenbereichsstruktur der zweiten Konzeptvariante ist in Abbildung 81 dargestellt. Die Bereiche SB-Gastbereich und SB-Kinderspielecke sind analog zum Service-Konzept modelliert. Neu hinzugekommen ist der Bereich „Free-Flow“, der sowohl mit dem SB-Gastbereich als auch mit der Küche verknüpft ist (siehe (Schulz & Wölki, Autobahn-Raststätte 2000, Raumerschliessungsplan > 1. Nummerungsliste, 2016, S. 4)). Der Wirtschaftsbereich wird nicht mehr angezeigt, da die Funktion „Reste entsorgen“ im zweiten Konzept durch „Reste deponieren“ ersetzt wurde, die im Free-Flow-Bereich ausgeführt wird.

Im weiteren Verlauf der Verifikation werden die Vorbereitungs- und die Zubereitungsfunktionen ausgehend von einem Selbstbedienungskonzept mit Free-Flow-Anlage modelliert und optimiert.



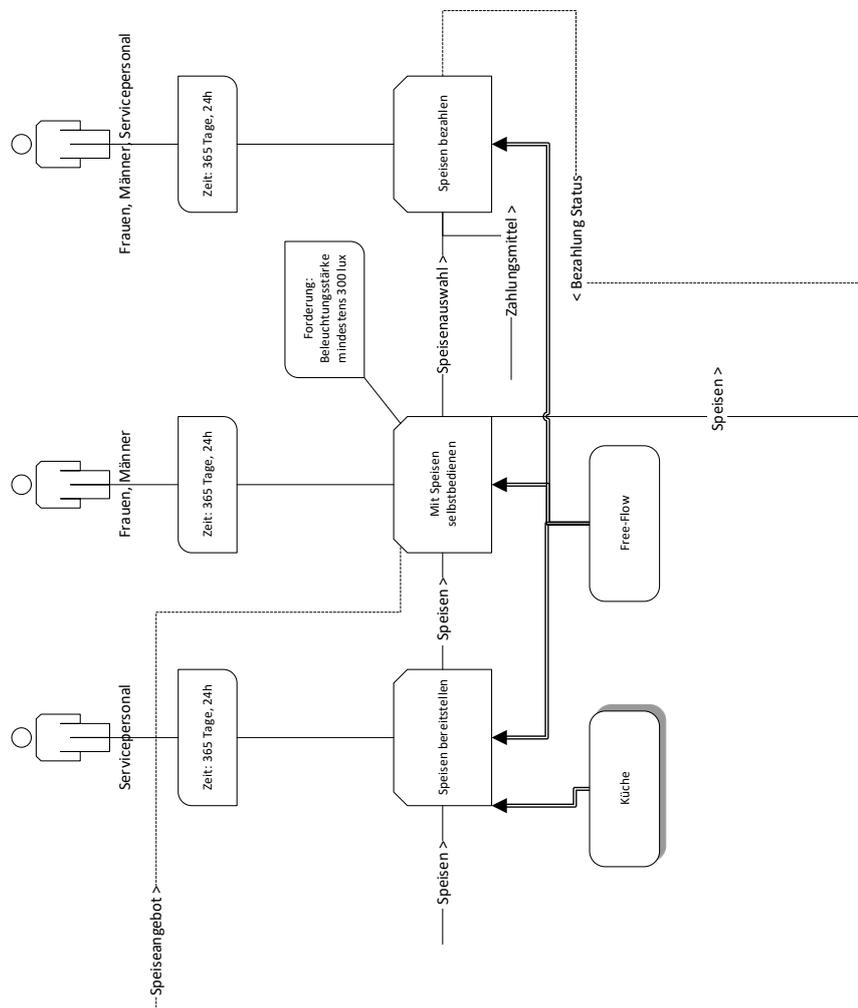


Abbildung 79: Nutzungsfunktionsstruktur der zweiten Konzeptvariante, Teil 2

Entwicklung von Varianten ausgehend von der Nutzungsfunktionenstruktur und der Struktur der abstrakten Funktionsbereiche

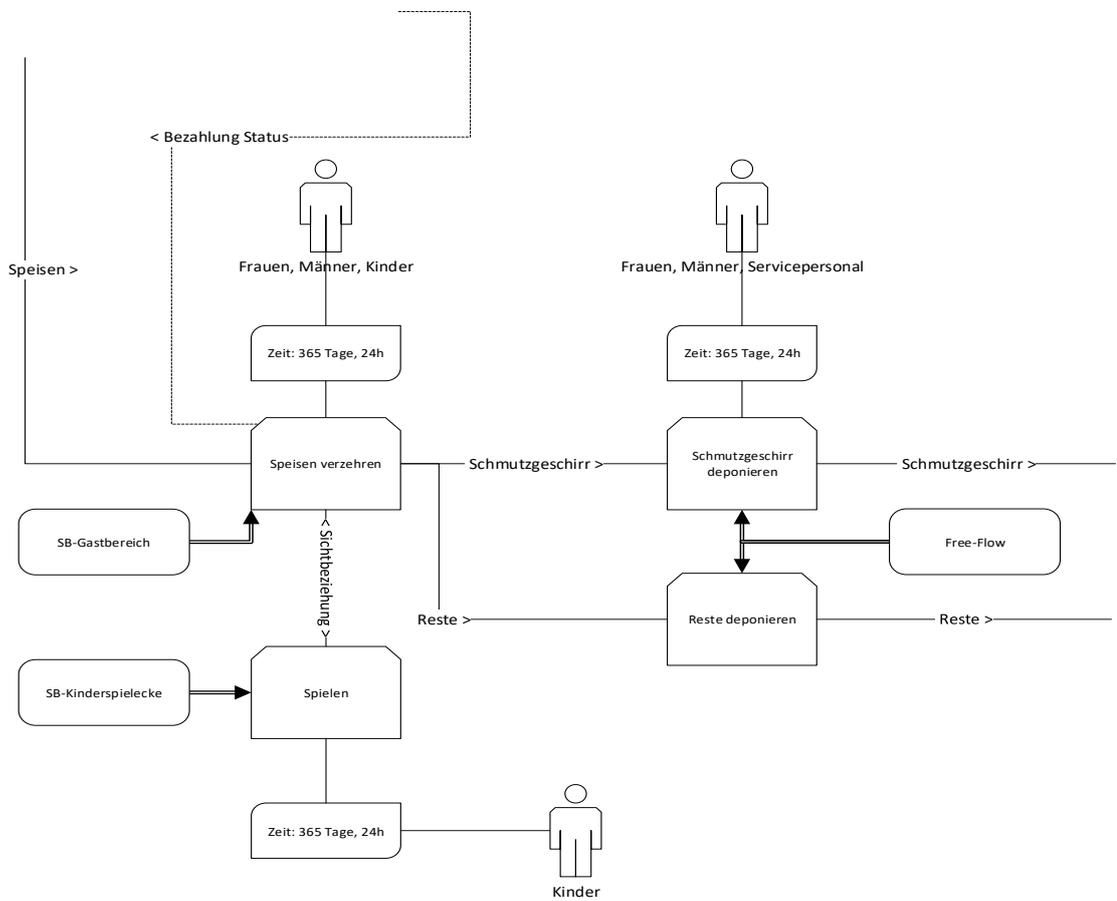


Abbildung 80: Nutzungsfunktionenstruktur der zweiten Konzeptvariante, Teil 3

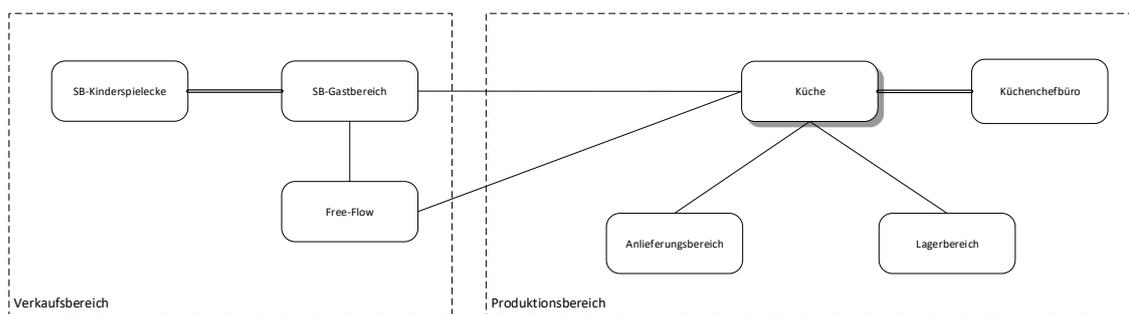


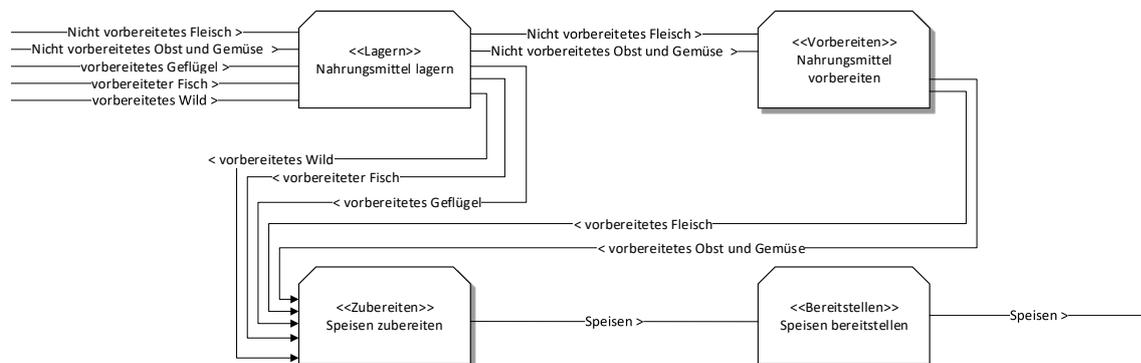
Abbildung 81: Funktionsbereichsstruktur der zweiten Konzeptvariante - Verkaufsbereich und Produktionsbereich

### 5.6.4 Zweite Variante der Vorbereitungsfunktionen: Meistverbreitete Zuordnung der Funktionen

Bis auf wenigen Ausnahmen werden heutzutage Großküchen überwiegend nur noch mit 2 Vorbereitungsräumen, einem für Fleisch und einem für Obst und Gemüse, geplant. Fast immer werden aber Geflügel, Fisch und Wild mit hoher Convenience-Stufe in den Küchen verwendet - wegen des hohen hygienischen Risikos und angesichts des manuellen Aufwandes beim Vorbereiten. Nur große Hotelküchen oder Gourmetrestaurants haben noch die vier oder fünf Vorbereitungsräume der klassischen französischen oder deutschen Küche. Die zweite Variante des Funktionenmodells führt dieses Großküchenkonzept ein. (Rohatsch, Lemme, Neumann, & Wagner, Grossküchen, 2002, S. 107)

#### 5.6.4.1 Erarbeiten der Nutzungsfunktionsflussstruktursicht

Abbildung 82 zeigt die zweite Variante der Nutzungsfunktionsstrukturflussicht der Vorbereitungsfunktionen. Hier ist deutlich zu erkennen, dass lediglich die Eingabeobjekte „Nicht vorbereitetes Fleisch“ und „Nicht vorbereitetes Obst und Gemüse“ von der Funktionsgruppierung „Nahrungsmittel vorbereiten“ verarbeitet werden. Das bedeutet, dass die entsprechenden Teilfunktionen für die Vorbereitung von Wild, Geflügel und Fisch entfallen, da die Nahrungsmittel mit hoher Convenience-Stufe direkt von der Nutzungsfunktionsgruppierung „Nahrungsmittel lagern“ an die Nutzungsfunktionsgruppierung „Nahrungsmittel zubereiten“ übergeben werden.

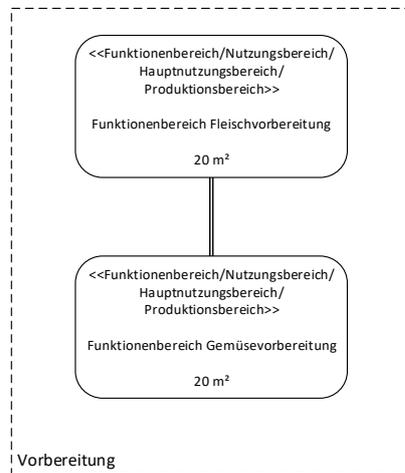


**Abbildung 82: Übersichtsdarstellung der Nutzungsfunktionsflussstruktur „Speisen bereiten“ (ausgewählte Funktionen), Variante 2**

#### 5.6.4.2 Erarbeiten der Struktur der abstrakten Funktionenbereiche

Abbildung 83 zeigt die entsprechende Struktur der abstrakten Funktionenbereiche. Da nur noch zwei der ursprünglichen fünf Nutzungsfunktionen ausgeführt werden müssen, sind auch nur die zwei Funktionsbereiche zur Fleischvorbereitung und

zur Vorbereitung von Obst und Gemüse erforderlich. Wie bereits im vorigen Rechenbeispiel, wird auch hier für die Funktionenbereiche eine Fläche von jeweils 20 m<sup>2</sup> angegeben, so dass insgesamt eine Fläche von nur 40 m<sup>2</sup> gefordert wird.



**Abbildung 83: Struktur der abstrakten Funktionenbereiche, Variante 2**

#### 5.6.5 Evaluierung der Varianten der Vorbereitungsfunktionen

Die Funktionenstruktursichten und die Struktur der abstrakten Funktionenbereiche bilden die zwei aus der Fachliteratur bekannten Großküchenkonzepte – klassische „französische“ und konventionelle Vorbereitung – mithilfe einer formalisierten, rechnerverarbeitbaren Notation auf mehreren Modellebenen ab.

Variante 1 bietet die bessere Qualität des Produktes „Speise“, deswegen findet sie ihre Anwendung in gehobeneren Restaurants und Hotels. Allerdings kommt diese Qualität zum Preis eines wesentlich erhöhten Flächenbedarfs – in diesem Rechenbeispiel 100 m<sup>2</sup> (erste Variante) statt 40 m<sup>2</sup> (zweite Variante). Die Ausführung der zusätzlichen Vorbereitungsfunktionen erfordert mehr und höher qualifiziertes Küchenpersonal, was zusätzliche Kosten mit sich bringt. Diese Faktoren machen Variante 2, bzw. das konventionelle Vorbereitungs-konzept, zur besser geeigneten Variante für eine Autobahnraststätte.

## 5.7 Entwicklung von Varianten ausgehend von den Nutzungs- und Produktfunktionenstrukturen, und von der Struktur der abstrakten Funktionenbereiche

Während im Kapitel 5.6 Varianten auf Grundlage der Modellebenen der Nutzungsfunktionen und Funktionenbereiche erarbeitet wurden, wird in den folgenden Kapiteln zusätzlich die Ebene der Produktfunktionen hinzugezogen. Dies eröffnet einen größeren Lösungsspielraum, was zu einer höheren Anzahl von Varianten führen kann.

Die Beispiele stammen aus dem Bereich der Speisenzubereitung, der im Vergleich zur Nahrungsmittelvorbereitung durch eine höhere Komplexität und einen erheblich höheren technischen Aufwand gekennzeichnet ist (siehe Kapitel 5.1.3). Deswegen weisen die entsprechenden Modelle der Nutzungs-, Produktfunktionen und Funktionenbereiche einen höheren Detaillierungsgrad auf und erfordern ein aufwändigeres Vorgehen bei deren Erarbeitung und Vernetzung.

Die Zubereitung hat innerhalb der Speisenproduktion in Großküchen eine zentrale Stellung, weil darin die essenziellen Zustandsänderungen an den in den Prozess eingehenden Nahrungsmitteln ablaufen und die Umwandlung zu verzehrfähigen Speisen erfolgt. Die Zubereitung wird überwiegend durch Garen erreicht.

Das Garen stellt einen Oberbegriff für eine Verfahrensgruppe dar, die durch eine Kombination von physikalischen und chemischen Vorgängen wie Erwärmen, Bewegen, Oxidation, Extraktion, Koagulation usw. repräsentiert wird (Rohatsch, Lemme, Neumann, & Wagner, Grossküchen, 2002, S. 116).

Aus dem Bereich der Nahrungsmittelzubereitung werden in den folgenden Modellszenarien ausgewählte Funktionen betrachtet, die zur Aussagekraft der Beispiele beitragen. Diese Funktionen sind: „Nahrungsmittel backen“, „Nahrungsmittel braten“, „Nahrungsmittel schmoren“, „Nahrungsmittel kochen“ und „Nahrungsmittel dämpfen“.

Dementsprechend wird für die Beispiele auch eine Auswahl an gängigen Gargeräten aus der Fachliteratur herangezogen (siehe Kapitel 5.1.3). Diese Geräte sind unter anderem Backofen, Großkochkessel, Heißluftdämpfer und Induktionsherd und sie werden früh in die Planung einbezogen, da sie entscheidende Informationen über die zu planenden Flächen und Funktionen liefern.

Die verschiedenen Technologien und Leistungsmerkmale dieser Geräte ermöglichen die Realisierung von unterschiedlichen Großküchenkonzepten, so dass Ände-

rungen auf der Modellebene der durch sie realisierten Produktfunktionen Folgeänderungen auf der Ebenen der Nutzungsfunktionen und der Funktionenbereiche nach sich ziehen können.

### 5.7.1 Erste Variante

In der ersten Variante werden alle Nutzungsfunktionen durch einzelnen, konventionellen Gargeräten realisiert. Das bedeutet, dass für jede der Nutzungsfunktionen ein eigenes Gerät und ein eigener Funktionenbereich benötigt werden. Diese Variante kennzeichnet sich durch einen höheren Flächenbedarf und längeren Zubereitungszeiten aber auch durch geringere Investitionskosten. (Rohatsch, Lemme, Neumann, & Wagner, Grossküchen, 2002, S. 120)

#### 5.7.1.1 Erarbeiten der Nutzungsfunktionsflussstruktursicht

Abbildung 84 zeigt die Nutzungsfunktionsstrukturflusssicht der Zubereitungsfunktionen. Die Flussobjekte „vorbereitetes Fleisch“, „vorbereitetes Obst und Gemüse“, „vorbereitetes Geflügel“, „vorbereiteter Fisch“ und „vorbereitetes Wild“ wurden bereits in der Übersichtsdarstellung in Abbildung 73 eingeführt. Der Einfachheit halber wird angenommen, dass die Speisenzubereitung jeweils nur eine der Zubereitungsfunktionen benötigt.

Es sind zwei Nutzungsfunktionen vom Typ „Zubereiten/Garen/Backen“ vorhanden, die von zwei Nutzern in zwei verschiedenen Zeitkontexten ausgeführt werden. Das bedeutet, dass diese beiden Funktionen sowie die restlichen Nutzungsfunktionen gleichzeitig in ihren jeweiligen Funktionenbereichen ausgeführt werden können.

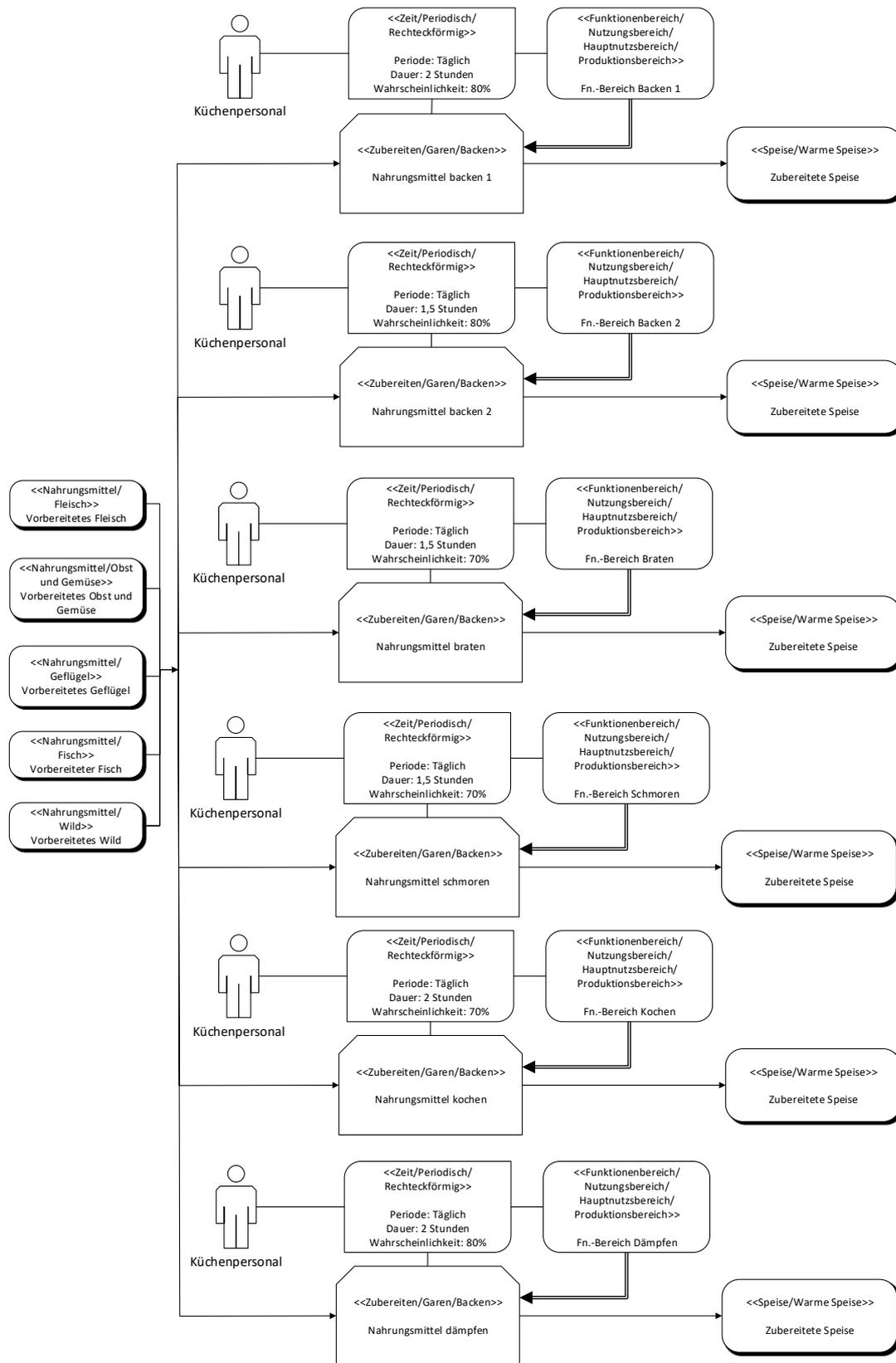


Abbildung 84: Nutzungsfunktionsflussstruktursicht, Variante 1

#### 5.7.1.2 Erarbeiten der Produktfunktionenstruktur

Wie bereits erwähnt, werden zur Realisierung der Produktfunktionen für die Gastronomie gängige Gerätearten herangezogen. Das bedeutet, dass die entsprechenden Produktfunktionenstrukturen nicht vom Abstrakten zum Konkreten, sondern umgekehrt im Reverse-Engineering erarbeitet werden.

Wenn die Produktfunktionenstrukturen vom Abstrakten zum Konkreten erarbeitet werden würden, würde dies bedeuten, dass für die Planung der Autobahnraststätte neue technische Realisierungen der Garverfahren, neue Lösungsprinzipien und letztendlich neue Gargeräte entwickelt werden sollten, was aber für die meisten Planungsfälle keine realistische Annahme sein dürfte.

Durch Reverse-Engineering von bestehenden Gargeräten können funktionenorientierte Lösungsbibliotheken mit wiederverwendbaren Komponenten (z.B. Gargeräten) aufgebaut werden. Solche Bibliotheken können als Back-End für einen integrierten elektronischen Marktplatz dienen. Eine intelligente Suche – implementiert z.B. durch Machine Learning – könnte aus einem funktionenorientierten Planungswerkzeug heraus automatische Empfehlungen und Integration der geeigneten Geräte bzw. deren Modelldaten ermöglichen.

Abbildung 85 zeigt die Produktfunktionenstruktur der Funktionsgruppierung „Garen in turbulenter Heißluft“, die zur Realisierung der Nutzungsfunktion „Backen“ notwendig ist. Die zwei zentralen Funktionen – „Konvektionswärme übertragen“

und „Strahlungswärme übertragen“ entsprechen den Forderungen, die an diesem Garverfahren gestellt werden (siehe Tabelle 18).

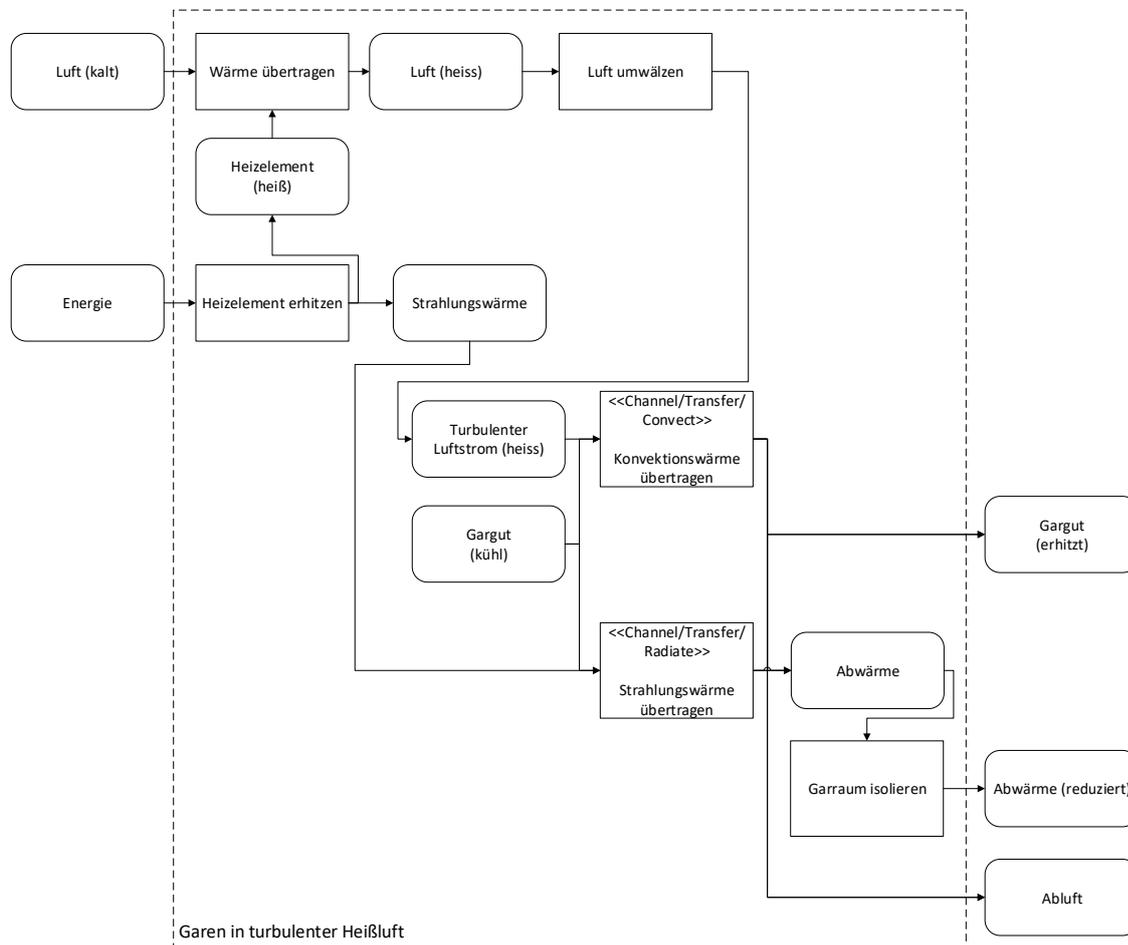


Abbildung 85: Produktfunktionenstruktur Garen in turbulenter Heißluft

Abbildung 86 zeigt dieselbe Funktionengruppierung, die nun reduziert ist, sowie deren Realisierungsobjekt und deren Flächenforderung. Bei dieser Produktfunktion ist das Realisierungsobjekt ein Gargerät – ein Backofen, der die Attribute „Aufstellfläche“ und „stapelbar“ besitzt. Aus diesen Attributen kann die Flächenforderung der Produktfunktionengruppierung abgeleitet werden, die ebenfalls angegeben ist.

Es ist eine gängige Praxis in der Großküchenplanung zwei oder drei Backöfen aufeinander zu stapeln (siehe (Rohatsch, Lemme, Neumann, & Wagner, Grossküchen, 2002, S. 125)). Das Attribut „stapelbar“ weist darauf hin, dass mehrere solche Realisierungsobjekte räumlich aufgestapelt werden können.

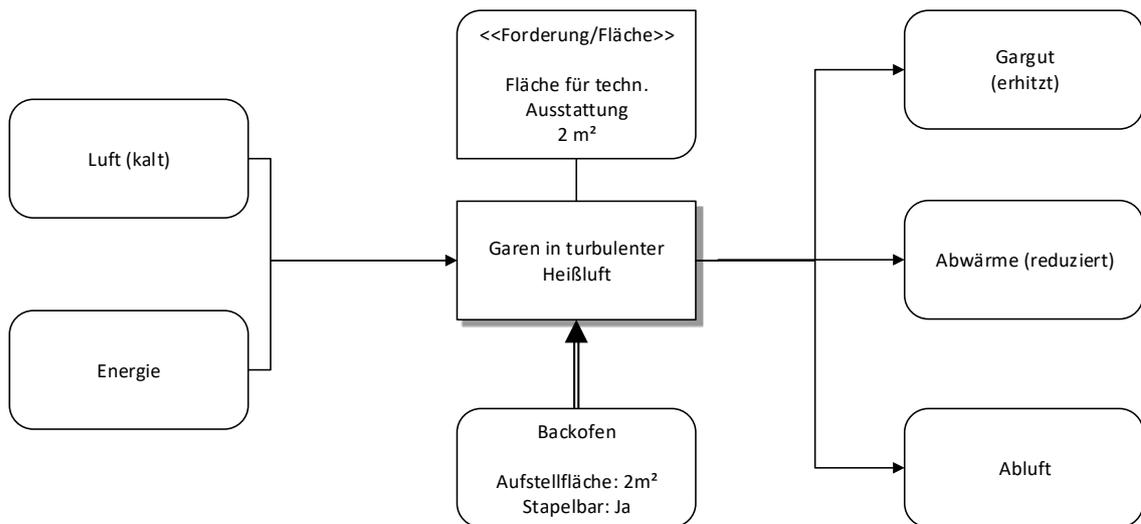


Abbildung 86: Funktionengruppierung „Garen in turbulenter Heißluft“

### 5.7.1.3 Erarbeiten der Funktionsbereichsstruktur

Die in Abbildung 87 dargestellte Funktionsbereichsstruktur zeigt die sechs Funktionsbereiche, die zu ihren jeweiligen Nutzungsfunktionen entsprechen, und die auch in Abbildung 86 gezeigt sind. Alle Funktionsbereiche der Zubereitungsfunktionen sind räumlich integriert – so wie von der Fachliteratur vorgeschlagen (siehe Kapitel 5.1.3).

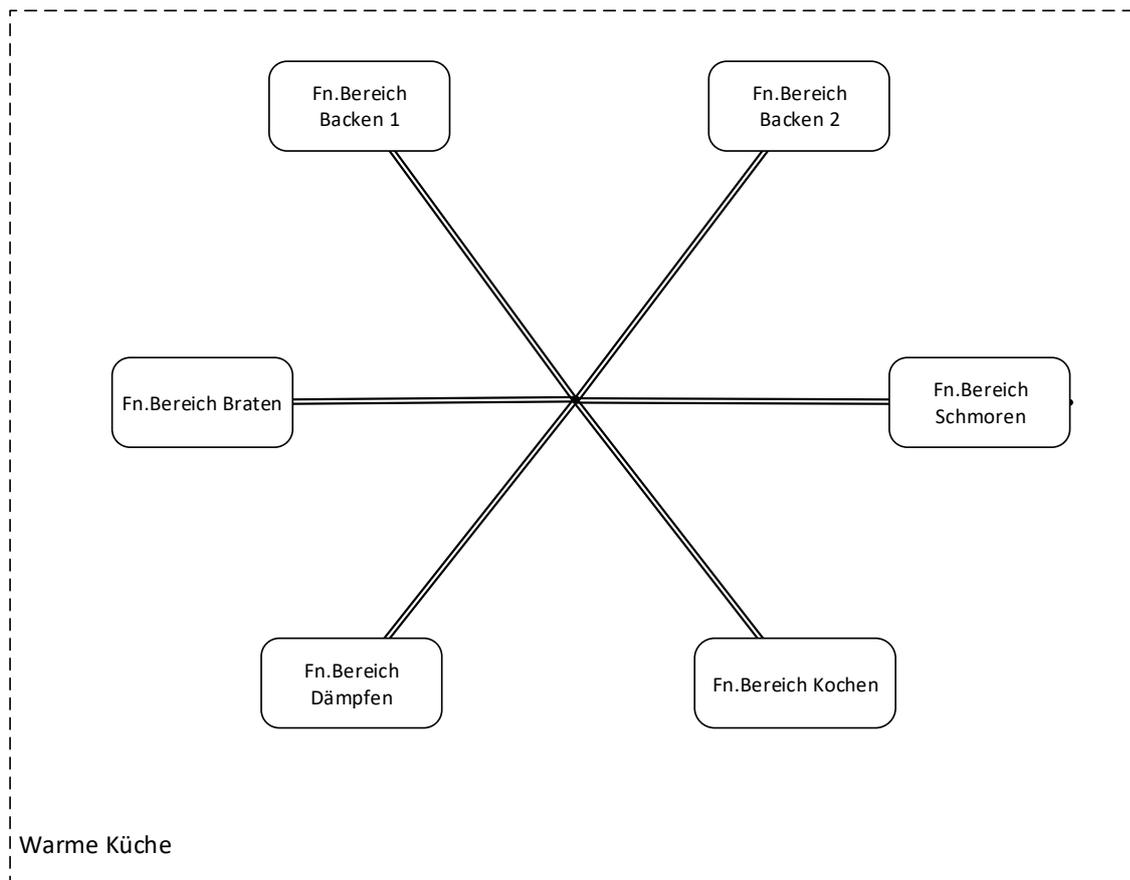


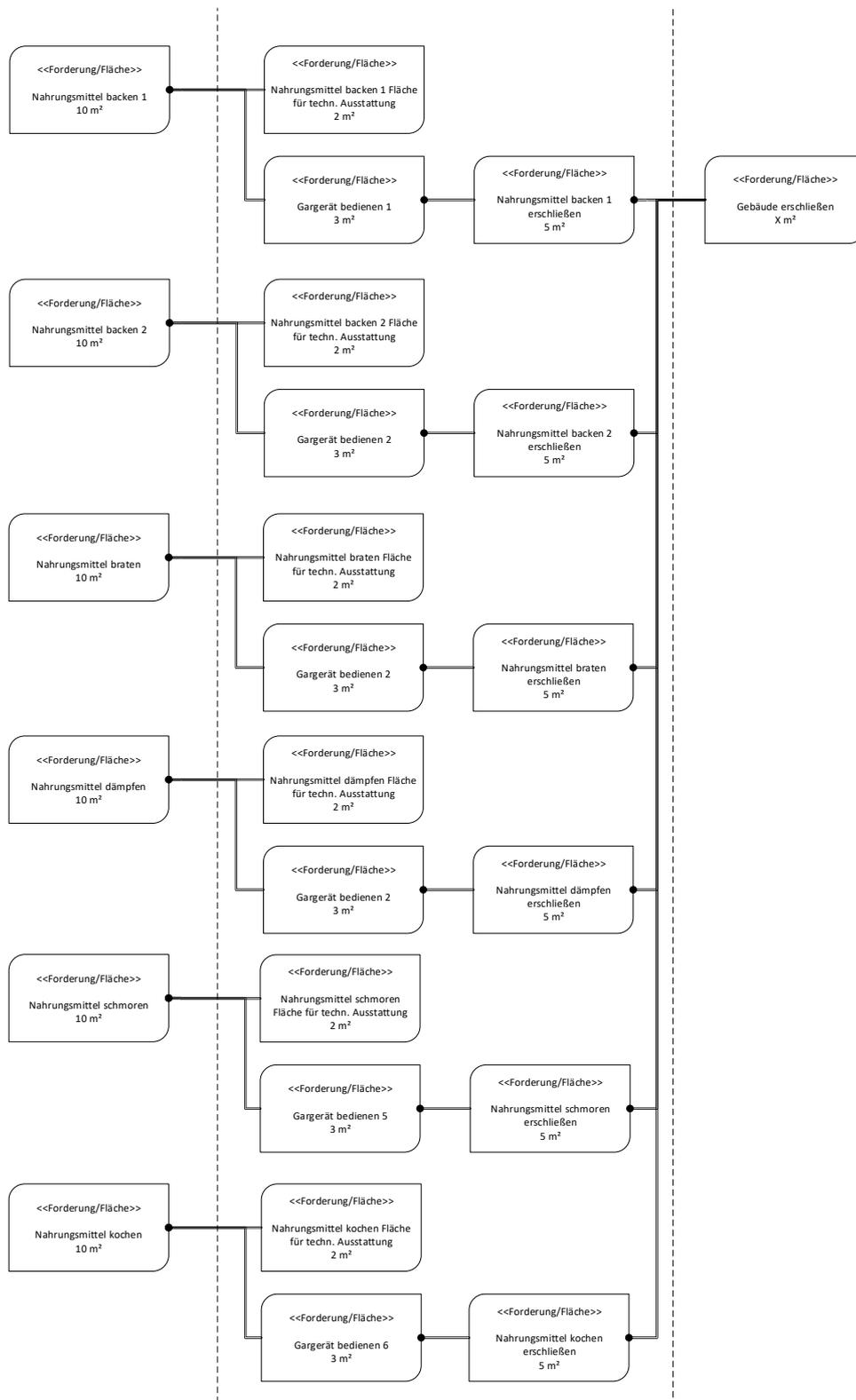
Abbildung 87: Funktionsbereichsstruktur der warmen Küche, Variante 1

#### 5.7.1.4 Teleologische Analyse der Flächenforderungen

Im Unterschied zu Kapitel 5.6 werden hier die Flächenforderungen der Nutzungsfunktionen mit Hilfe einer teleologischen Analyse ermittelt (siehe Abbildung 88). Die Grundlage für die teleologische Analyse ist die teleologische Nutzungsfunktionsstruktursicht der Zubereitung aus Abbildung 67. Zunächst werden alle Funktionen identifiziert, die Flächenforderungen stellen können. Am Beispiel der Funktion „Nahrungsmittel backen“ sind das:

- Die Produktfunktion „Nahrungsmittel garen in turbulenter Heißluft“
- Die Nutzungsfunktion „Gargerät bedienen“
- Die Nutzungsfunktion „Nahrungsmittel backen 1 erschließen“

## Entwicklung von Varianten ausgehend von den Nutzungs- und Produktfunktionenstrukturen, und von der Struktur der abstrakten Funktionenbereiche



**Abbildung 88: Teleologische Sicht der Flächenforderungen, Variante 1**

Die Flächenforderungen werden in das teleologische Diagramm der Flächenforderungen an den entsprechenden Stellen ihrer Funktionen eingetragen (siehe Abbildung 88), so dass die teleologische Kette erhalten bleibt. Die Summe der Flächenforderungen (Folgeforderungen) innerhalb des Untersuchungsbereichs entlang der teleologischen Kette ergibt den Flächenbedarf der übergeordneten Flächenforderung.

### 5.7.2 Zweite Variante

Die zweite Variante nutzt die Tatsache aus, dass die Realisierungsobjekte der beiden Nutzungsfunktionen „Nahrungsmittel backen“ stapelbar sind. Gewöhnlich werden in der Gastronomie mehrere Backöfen aufeinander gestapelt. (Rohatsch, Lemme, Neumann, & Wagner, Grossküchen, 2002, S. 125) An diesem Beispiel kann weiter vertieft werden, wie Flächenforderungen teleologisch analysiert werden können.

#### 5.7.2.1 Erarbeiten der Nutzungsfunktionenflussstruktursicht

Abbildung 89 zeigt die Nutzungsfunktionenflussstruktur der zweiten Variante. Der wesentliche Unterschied ist, dass nun beide Funktionen „Nahrungsmittel backen“ von demselben abstrakten Funktionenbereich realisiert werden. Dementsprechend sind auch die Nutzer und deren Zeitkontexte mit diesem Realisierungsobjekt verknüpft.

## Entwicklung von Varianten ausgehend von den Nutzungs- und Produktfunktionenstrukturen, und von der Struktur der abstrakten Funktionsbereiche

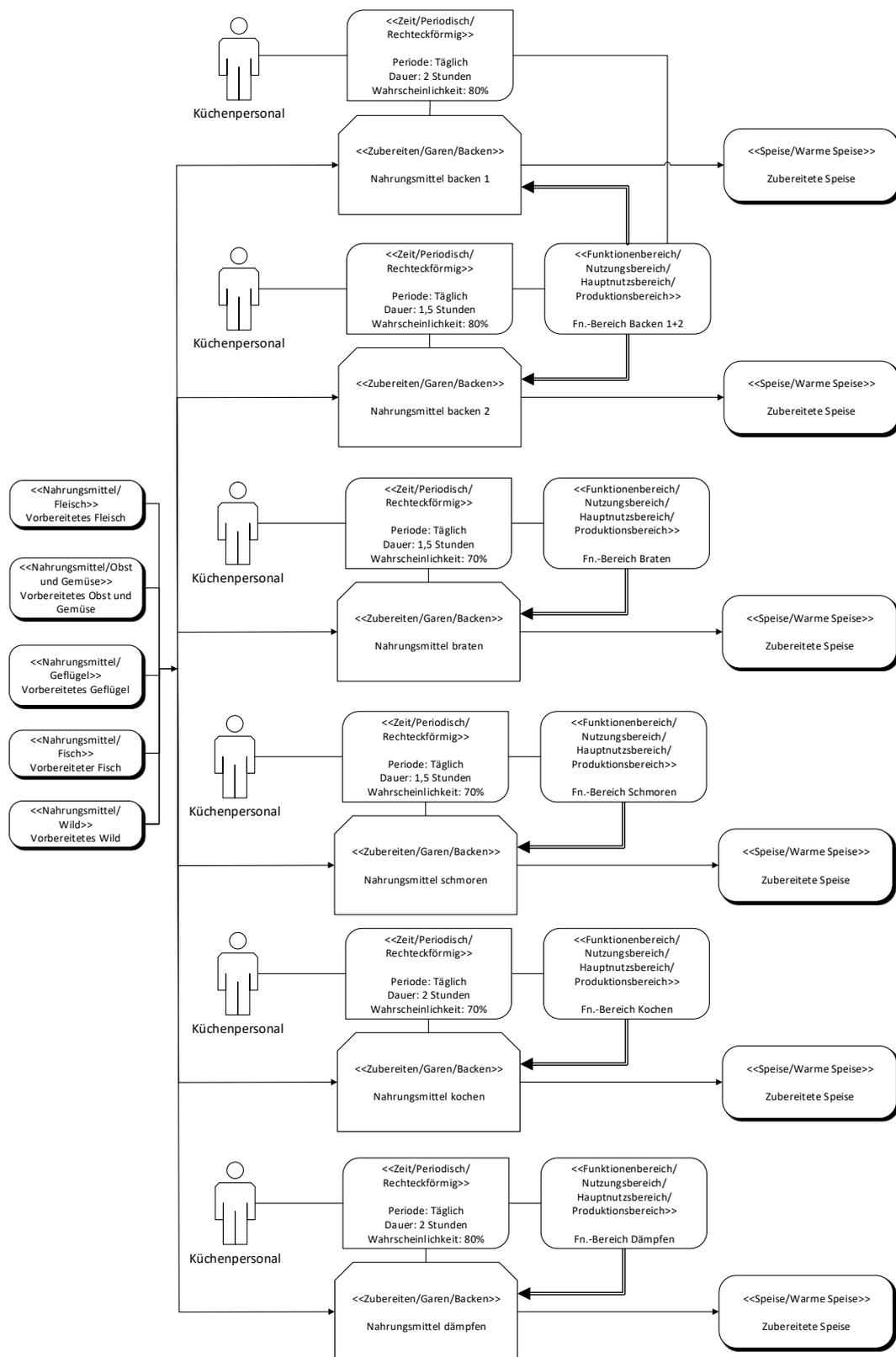


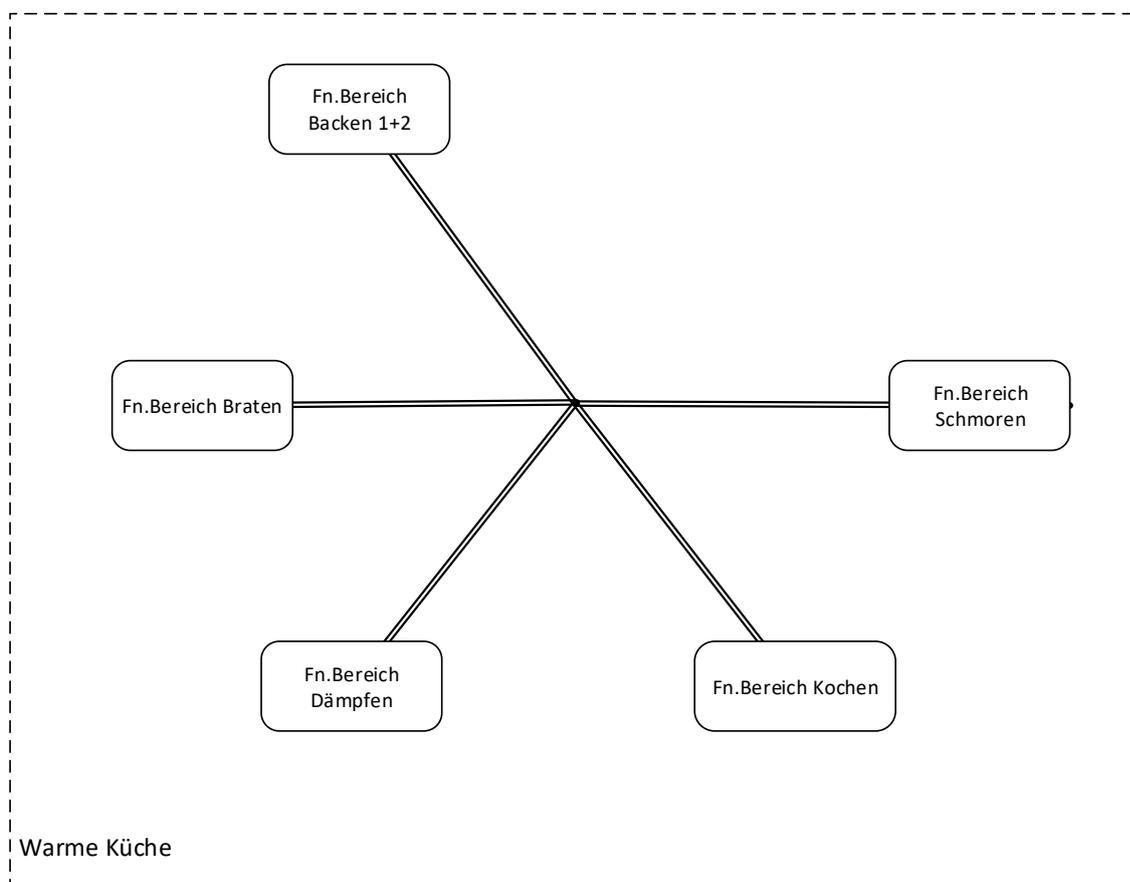
Abbildung 89: Nutzungsfunktionsflussstruktursicht, Variante 2

### 5.7.2.2 Erarbeiten der Produktfunktionenstruktur

Die Produktfunktionenflussstruktur bleibt in diesem Fall unverändert, da die Funktionen der beiden Backöfen dieselben bleiben. Es ändert sich lediglich die räumliche Lage der Realisierungsobjekte, die aber keine Änderungen der Funktionenstruktur erfordert.

### 5.7.2.3 Erarbeiten der Funktionenbereichsstruktur

Die Funktionenbereichsstruktur aus Abbildung 90 zeigt, dass durch die Stapelung der beiden Backöfen ein Funktionenbereich eingespart werden konnte. Es gibt nun nur den gemeinsamen „Fn.-Bereich backen 1+2“.



**Abbildung 90: Funktionenbereichsstruktur der warmen Küche, Variante 2**

### 5.7.2.4 Teleologische Analyse der Flächenforderungen

Abbildung 91 zeigt die teleologische Sicht der Flächenforderungen der zweiten Variante. Zwei der übergeordneten Funktionen stellen nun zwei parallele Flächenforderungen: „Nahrungsmittel backen 1“ und „Nahrungsmittel backen 2“. Das bedeutet, dass beide Forderungen sich auf dieselbe geforderte Fläche, bzw. dass ihre Funktionen sich auf demselben Funktionenbereich beziehen. Bei parallelen Forderungen

werden die Werte nicht aufsummiert, sondern es wird der größere der beiden Werte als gemeinsamer Wert genommen. Angewendet auf dieses Beispiel bedeutet dies, dass beide Funktionen „Nahrungsmittel backen 1“ und „Nahrungsmittel backen 2“ insgesamt 12 m<sup>2</sup> Fläche fordern. Ähnlich verhält es sich mit den parallelen Folgeforderungen für Fläche für technische Ausstattung, zur Benutzung des Gargerätes und zur Erschließung des Funktionenbereiches.

Der teleologischen Struktur der Flächenforderungen kann entnommen werden, dass durch die Aufstapelung der beiden Realisierungsobjekte und durch die entsprechende Parallelisierung der Forderungen nun nur noch 12 m<sup>2</sup> zur Ausführung der beiden Nutzungsfunktionen erforderlich sind. D.h. im Vergleich zur ersten Variante, die dafür 20 m<sup>2</sup> benötigt, können insgesamt 8 m<sup>2</sup> eingespart werden.

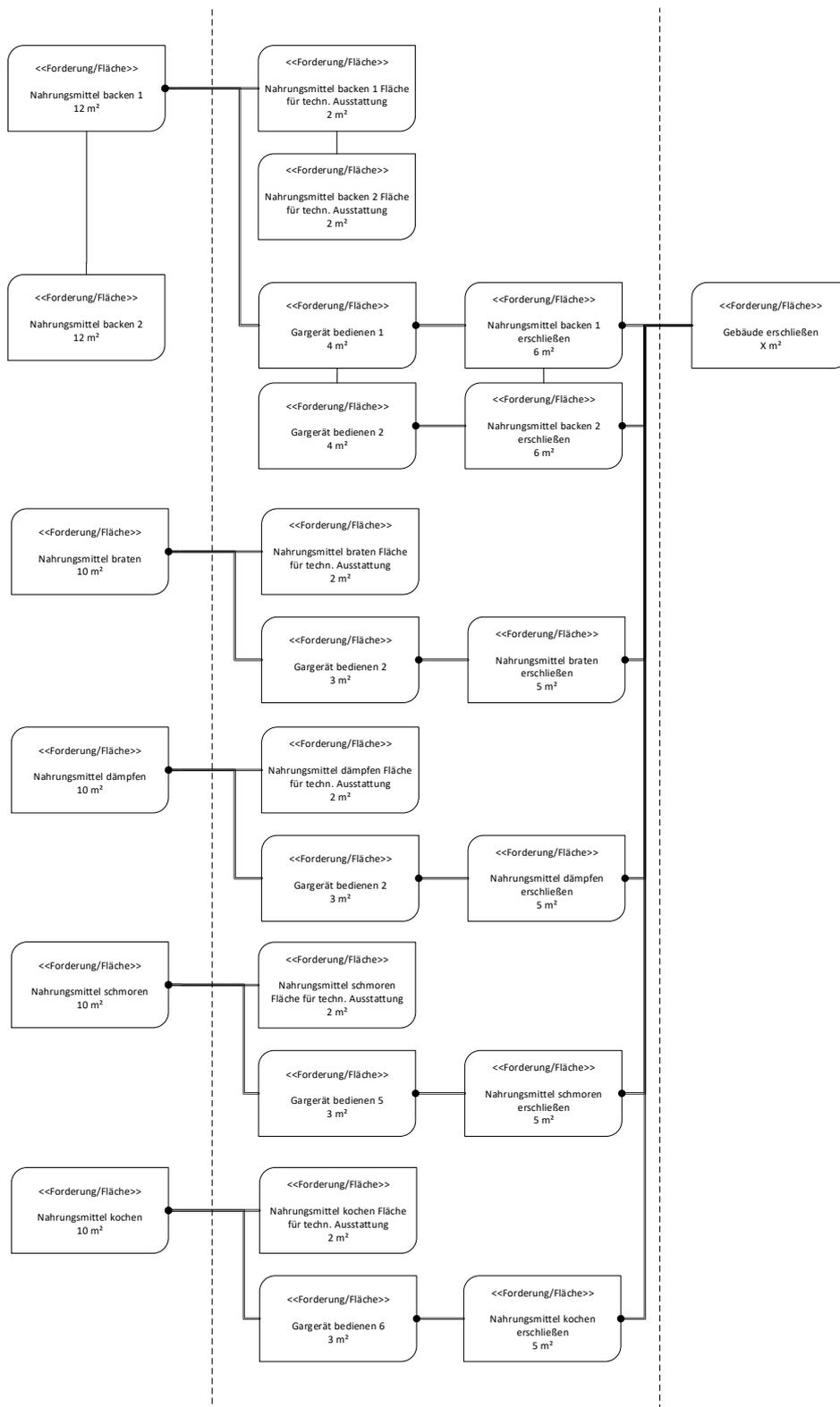


Abbildung 91: Teleologische Sicht der Flächenforderungen, Variante 2

### 5.7.3 Dritte Variante

In der dritten Variante werden mehrere Nutzungsfunktionen – Backen, Braten und Dämpfen – von demselben Funktionsbereich aufgenommen. Dies wird durch zwei Änderungen ermöglicht:

1. Die herkömmlichen Gargeräte für Backen, Braten und Dämpfen – Backofen, Kippbratpfanne und Großkochkessel – werden durch einen Heißluftdämpfer ersetzt, der sowohl Platz als auch Zeit und Energie bei der Zubereitung spart.
2. Der Heißluftdämpfer und der Backofen werden aufeinandergestapelt.

#### 5.7.3.1 Erarbeiten der teleologischen Funktionenstruktursicht

Abbildung 92 zeigt die teleologische Funktionenstruktursicht der dritten Variante. Die Nutzungsfunktionen „Nahrungsmittel backen 2“, „Nahrungsmittel braten“ und „Nahrungsmittel dämpfen“ werden nun durch eine Produktfunktionsgruppierung unterstützt: „Kombiniertes Garen in Dampf und turbulenter Heißluft“, die durch das Realisierungsobjekt Heißluftdämpfer zu realisieren ist. Die entsprechende Produktfunktionsstruktur wird in Kapitel 5.7.3.3 erläutert und ist in Abbildung 95 zu finden.

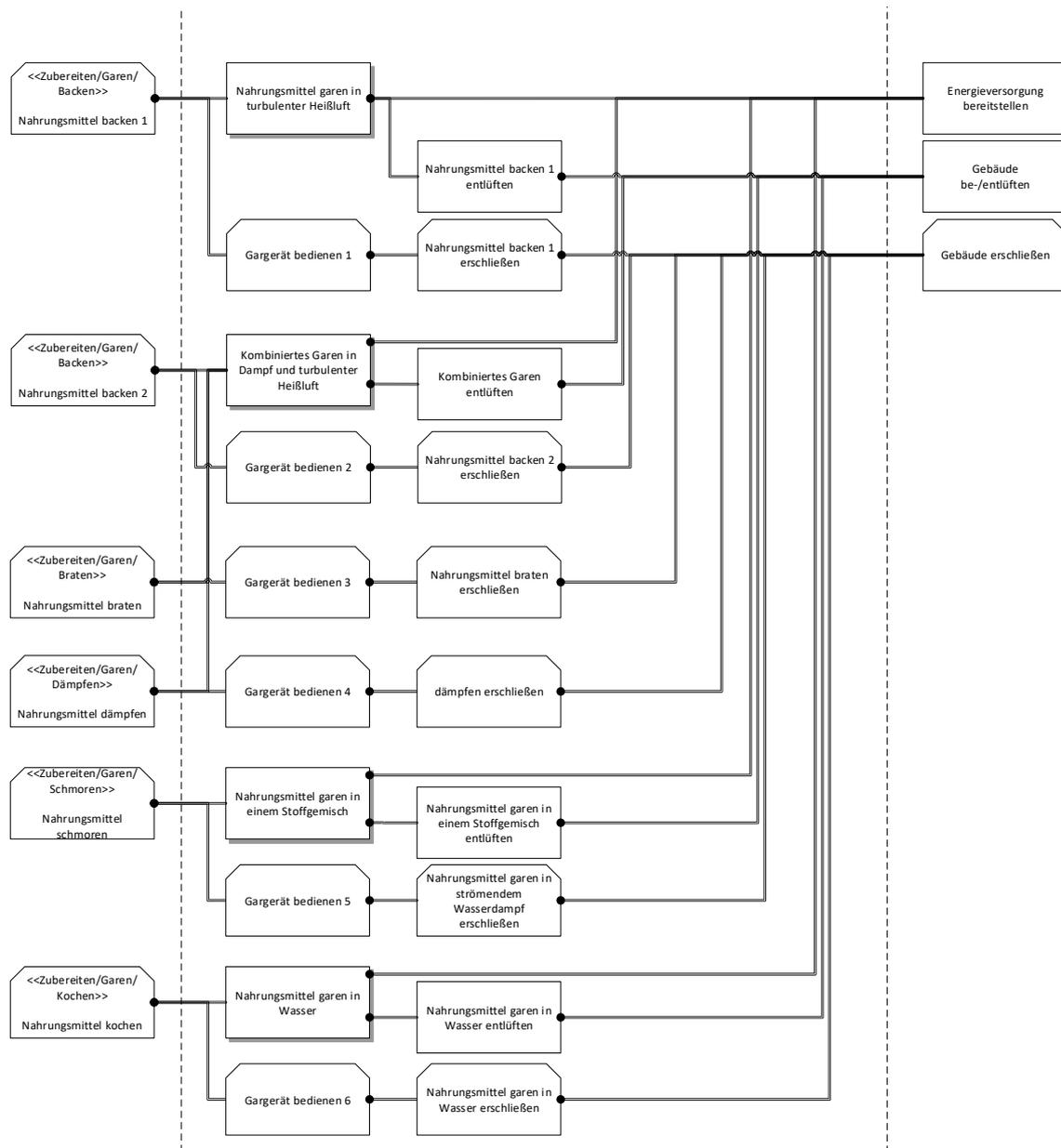


Abbildung 92: Teleologische Funktionenstruktursicht, Variante 3

### 5.7.3.2 Erarbeiten der Nutzungsfunktionsflussstruktursicht

Abbildung 93 zeigt die geänderte Nutzungsfunktionsstruktursicht. Es gibt nun vier Nutzungsfunktionen, welche durch denselben Funktionenbereich realisiert werden. Die entsprechenden Nutzer und Zeitkontexte sind nun auch mit diesem Funktionenbereich verknüpft. Da mehrere Nutzer Zugriff haben müssen, und darüber hinaus die zeitliche Beanspruchung des Funktionenbereiches in dieser Variante höher ist, müssen diese Aspekte bei der teleologischen Analyse der Flächenforderungen besonders berücksichtigt werden.

## Entwicklung von Varianten ausgehend von den Nutzungs- und Produktfunktionenstrukturen, und von der Struktur der abstrakten Funktionsbereiche

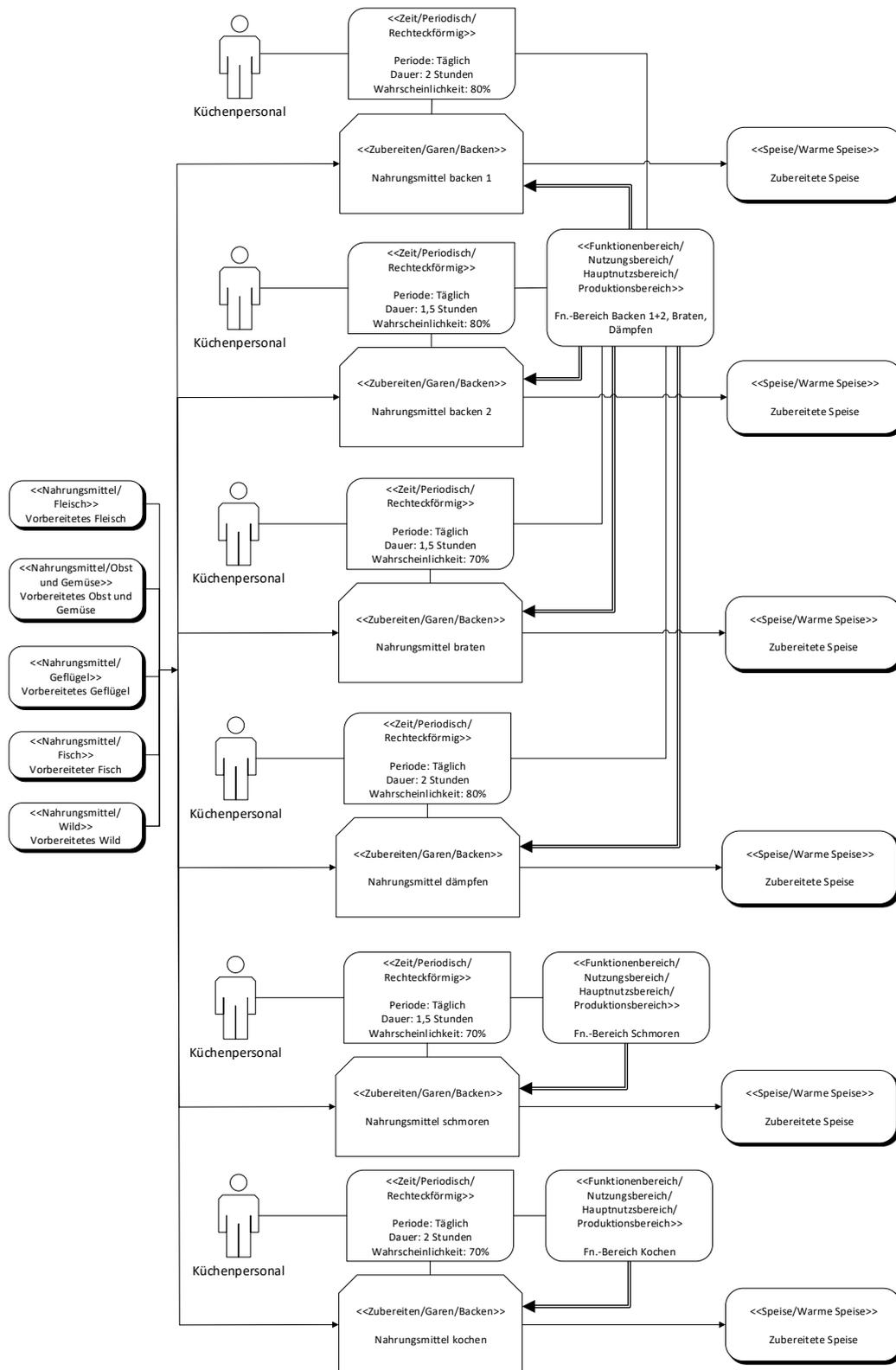


Abbildung 93: Nutzungsfunktionsflussstruktursicht, Variante 3

### 5.7.3.3 Erarbeiten der Produktfunktionenstruktur

Abbildung 94 zeigt die Produktfunktionenstruktur des kombinierten Garens in Dampf und turbulenter Heißluft, welches die Nutzungsfunktionen Backen, Dämpfen und Braten mit Hilfe eines Gargerätes prozessorgesteuert realisieren kann (für mehr Informationen zum Heißluftdämpfen siehe Kapitel 5.1.2).

Entwicklung von Varianten ausgehend von den Nutzungs- und Produktfunktionenstrukturen, und von der Struktur der abstrakten Funktionsbereiche

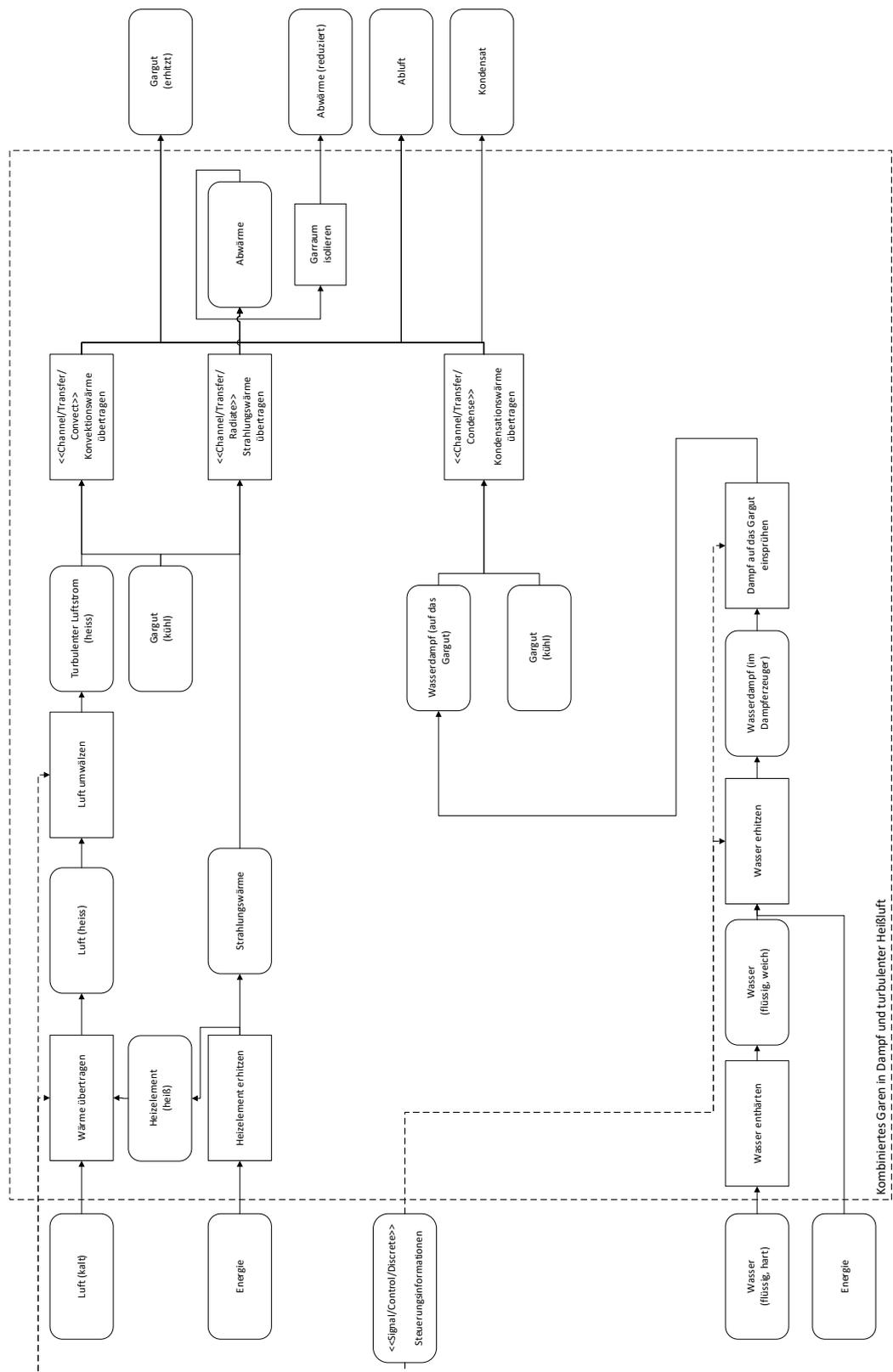
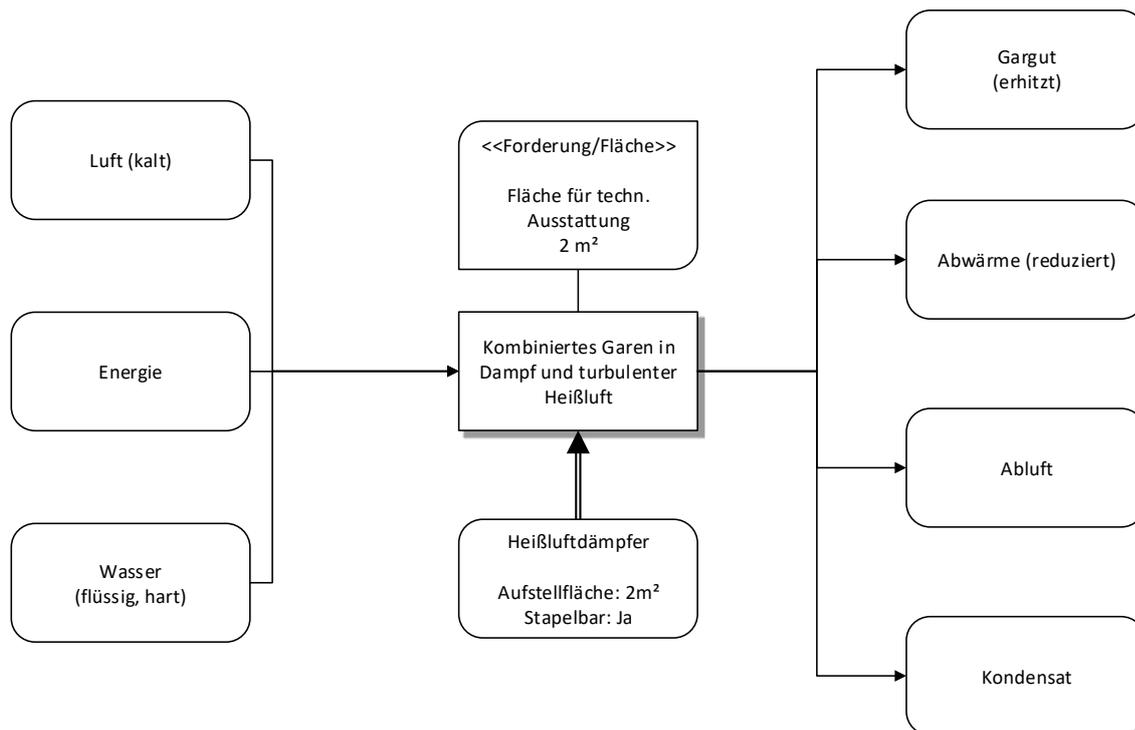


Abbildung 94: Produktfunktionsstruktur des kombinierten Garens in Dampf und turbulenter Heißluft

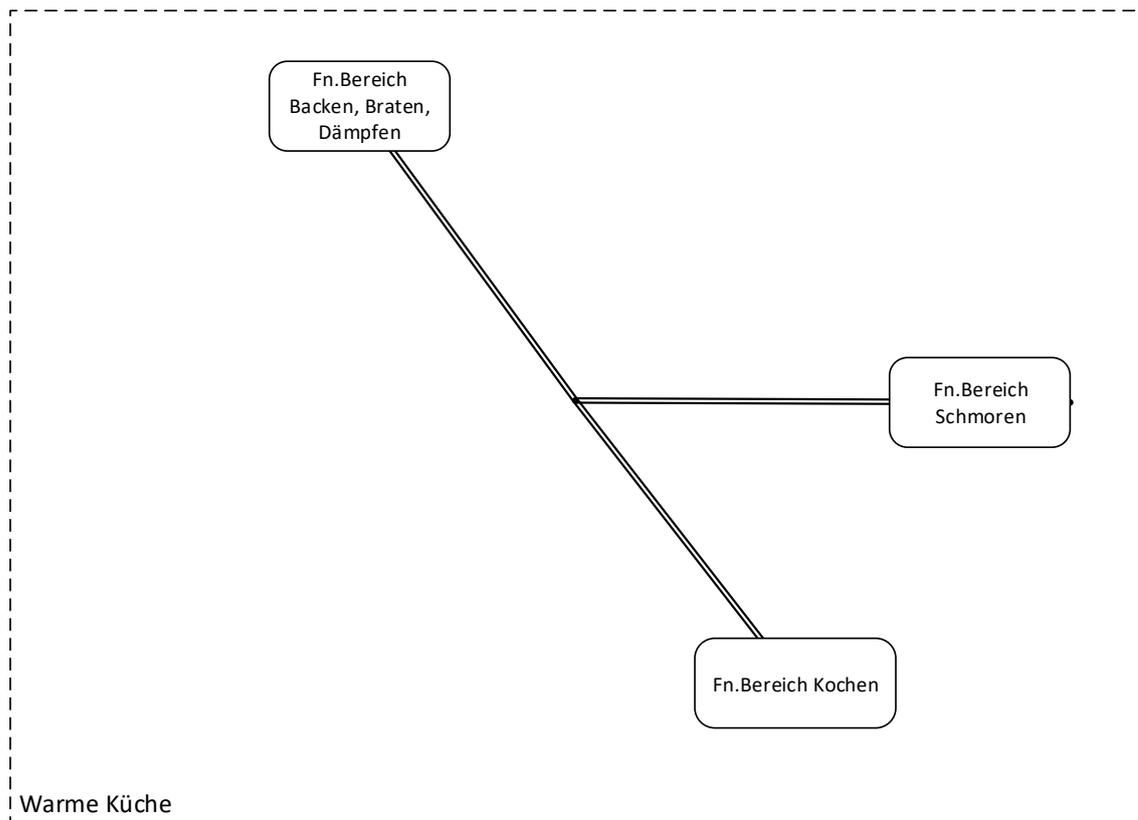
Abbildung 95 zeigt die reduzierte Funktionengruppierung „Kombiniertes Garen in Dampf und turbulenter Heißluft“ zusammen mit ihrem Realisierungsobjekt – dem Gargerät „Heißluftdämpfer“. Aus dessen Aufstellfläche kann die Flächenforderung für technische Ausstattung dieser Funktionengruppierung abgeleitet werden, die in diesem Beispiel 2 m<sup>2</sup> beträgt. Der Heißluftdämpfer ist genauso wie der Backofen stapelbar.



**Abbildung 95: Funktionengruppierung „Kombiniertes Garen in Dampf und turbulenter Heißluft“**

#### 5.7.3.4 Erarbeiten der Funktionenbereichsstruktur

Abbildung 96 zeigt die Funktionenbereichsstruktur der vierten Variante. Hier sind nur drei Funktionenbereiche zu sehen: Der kombinierte Funktionenbereich für die zusammengelegten Funktionen Backen (1+2), Braten und Dämpfen, sowie zwei weitere Bereiche für Schmoren und Kochen. Die Funktionenbereiche sind räumlich integriert.



**Abbildung 96: Funktionsbereichsstruktur der warmen Küche, Variante 3**

### 5.7.3.5 Teleologische Analyse der Flächenforderungen

Abbildung 97 zeigt die teleologische Sicht der Flächenforderungen der dritten Variante. Vier übergeordnete Funktionen – Backen 1 und 2, Braten und Dämpfen – stellen parallele Flächenforderungen. Ihre Folgefunktionen stellen ebenfalls parallele Forderungen. Da nun mehrere Funktionen denselben Funktionsbereich beanspruchen, stellen hier die Gerätebenutzung und die Erschließung des Funktionsbereiches größere Flächenforderungen an den Funktionsbereich. Daraus ergibt sich insgesamt eine Flächenforderung von  $16 \text{ m}^2$  für alle vier Nutzungsfunktionen. Im Vergleich zur ursprünglichen Variante, die dafür  $40 \text{ m}^2$  gefordert hätte, wäre das eine Reduktion von 60%.

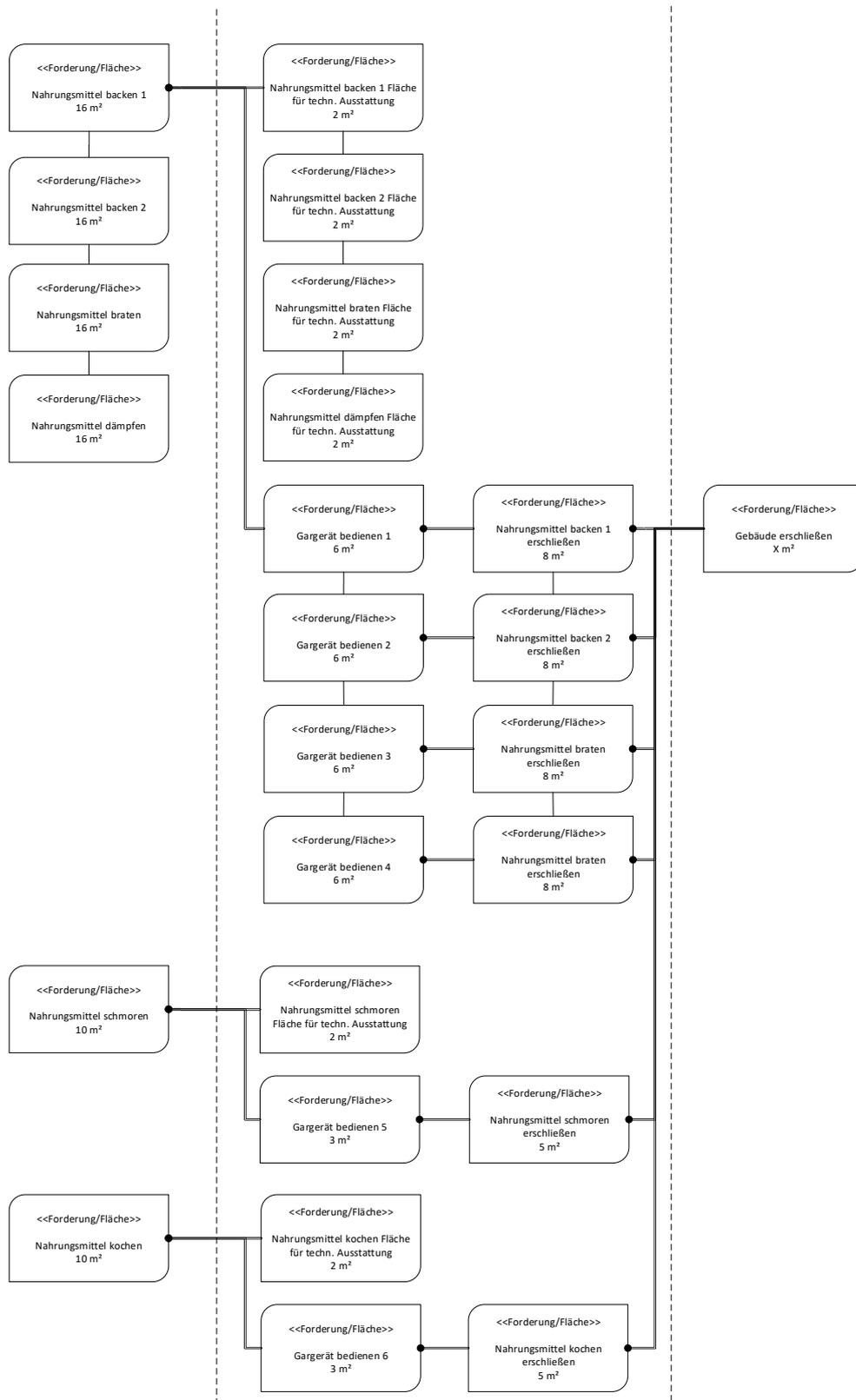


Abbildung 97: Teleologische Sicht der Flächenforderungen, Variante 3

#### 5.7.4 Vierte Variante

Die Gäste erwarten in Verbindung mit den Speisen mehr Erlebnis, Action, Lebensfreude und Faszination. Dies erfordert neben entsprechend ausgebildetes Personal auch geeignete, innovative Technologien und Geräten. Das zieht nach sich immer höhere Investitionsaufwände für Modernisierungen, Um- und Neubauten. Die wichtigste und eigentlich einzige Maßnahme, welcher der Planer ergreifen kann (die Restlichen sind von der Industrie abhängig), ist für einen möglichst sinnvollen und rationellen Einsatz von Geräten und Ausrüstungen zu sorgen.

Die vierte Variante basiert auf dem modernen Trend, Nutzungsfunktionen von dem Produktionsbereich zum Verkaufsbereich zu verlagern und ein besseres Kundenerlebnis anzubieten. Dies wird durch innovative Geräte ermöglicht, die ein effizientes Zubereiten vor den Augen des Gastes ermöglichen (siehe Kapitel 5.1.3). (Rohatsch, Lemme, Neumann, & Wagner, Grossküchen, 2002, S. 133) Ein solches Gerät ist der Induktionsherd, mit welchem fast alle Garverfahren realisiert werden können.

Schwerpunkt dieser Variante ist die Optimierung des Geräteeinsatzes, der Produktions- und Verkaufsbereiche und eine rückwirkende Anpassung des Nutzungskonzeptes an den neuen Möglichkeiten, die sich durch innovativen Technologien eröffnen. Hierin unterscheidet sich diese Variante von den Vorherigen, da nun die Auswirkungen der Produktfunktionen auf den Nutzungsfunktionen bzw. auf dem Nutzungskonzept veranschaulicht werden.

##### 5.7.4.1 Erarbeiten der teleologischen Funktionenstruktursicht

Abbildung 98 zeigt die geänderte teleologische Funktionenstruktursicht der vierten Variante. Die Nutzungsfunktionen „Nahrungsmittel schmoren“ und „Nahrungsmittel kochen“ werden nun durch eine Produktfunktionsgruppierung realisiert: „Garen durch elektromagnetische Induktion und Kontaktwärme“, die durch das Realisierungsobjekt Induktionsherd ermöglicht wird. Die entsprechende Produktfunktionsstruktur wird in Kapitel 5.7.4.3 erläutert und ist in Abbildung 101 zu finden.

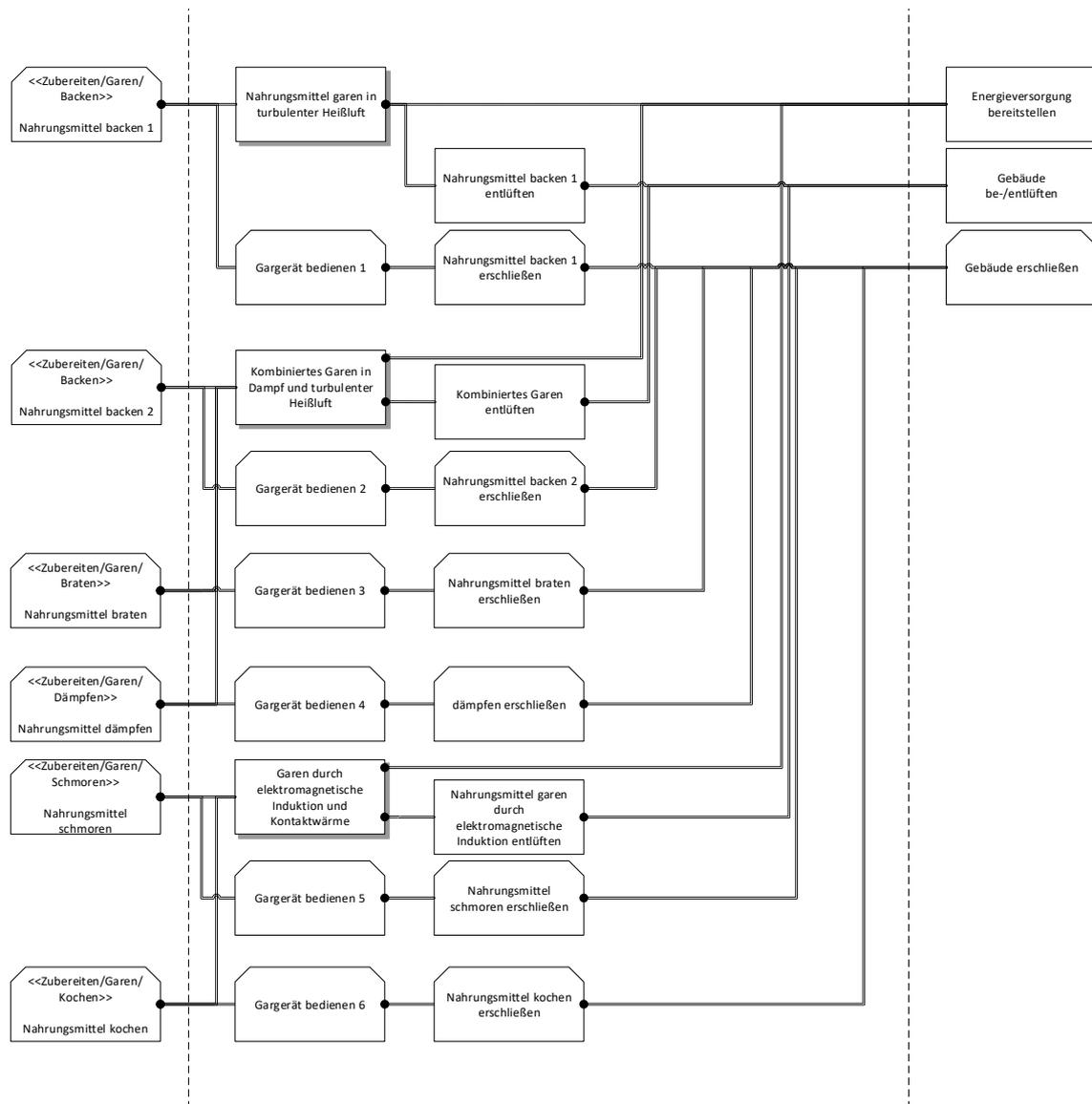


Abbildung 98: Teleologische Funktionenstruktursicht, Variante 4, Iteration 1

### 5.7.4.2 Erarbeiten der Nutzungsfunktionsflussstruktursicht

Abbildung 99 zeigt die Nutzungsfunktionsflussstruktursicht der vierten Variante. Hier werden die Änderungen der dritten Variante übernommen und erweitert. Zusätzlich zur Zusammenfassung der ersten vier Funktionen, werden nun auch die letzten beiden Funktionen – „Nahrungsmittel schmoren“ und „Nahrungsmittel kochen“ – zu einem Funktionenbereich zusammengefasst.

# Entwicklung von Varianten ausgehend von den Nutzungs- und Produktfunktionenstrukturen, und von der Struktur der abstrakten Funktionsbereiche

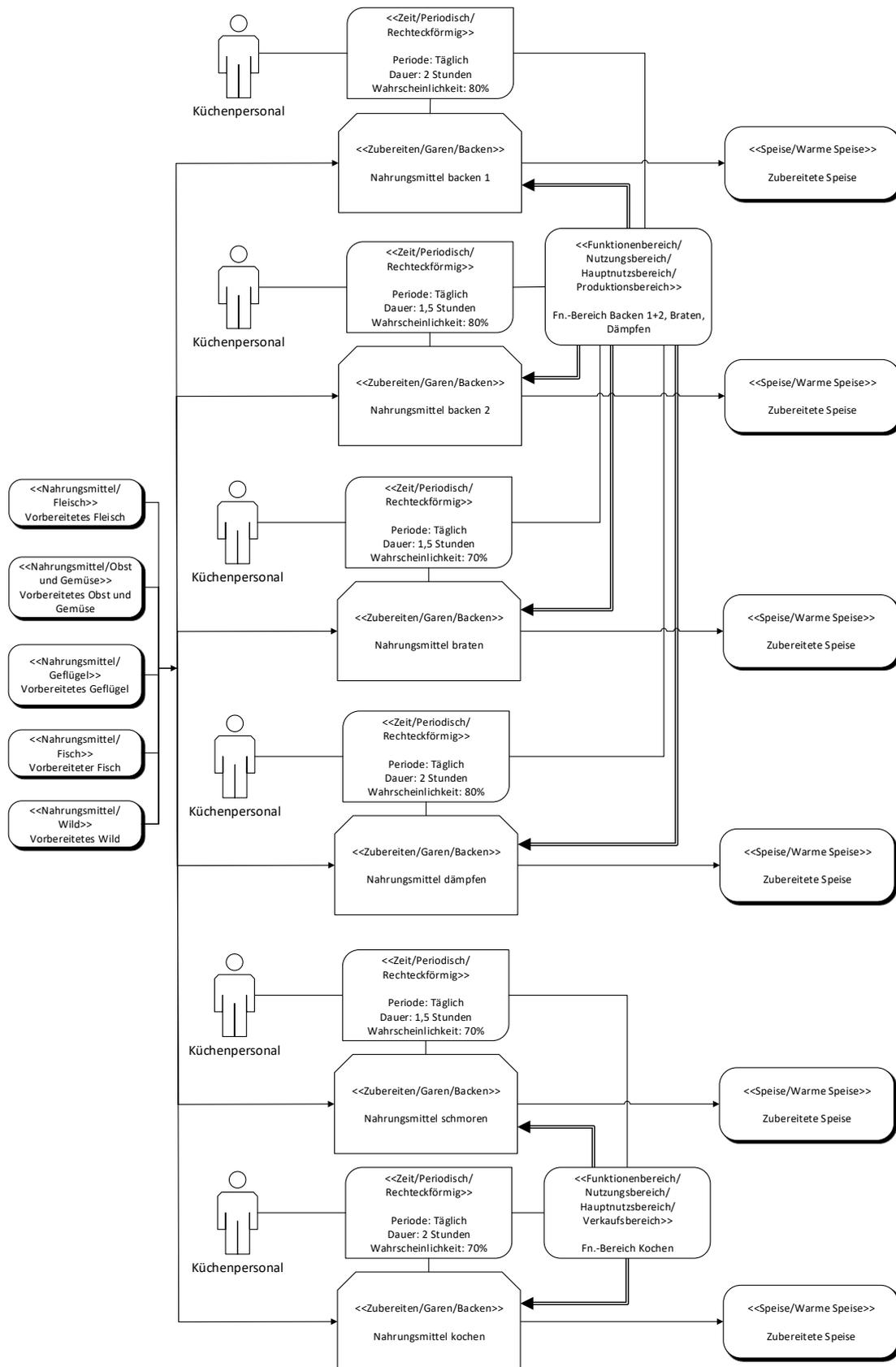


Abbildung 99: Nutzungsfunktionsflussstruktursicht, Variante 4

#### 5.7.4.3 Erarbeiten der Produktfunktionenstruktur

Induktionsherde sind sehr schnell und effizient. Deswegen sind entsprechend konzipierte Geräte für das Front-Cooking in Free-Flow Selbstbedienungszonen sehr gut geeignet. (Rohatsch, Lemme, Neumann, & Wagner, Grossküchen, 2002, S. 32) Durch die schnelle Erwärmung ist es möglich, die Speisen auf Anforderung vor den Augen des Gastes zuzubereiten. Die effiziente Energieübertragung auf das Gargefäß und auf das Gargut trägt zur Energieeinsparung bei. Darüber hinaus kann das Induktionsgaren präzise gesteuert werden, so dass eine höhere Qualität der Speise ermöglicht wird. Abbildung 100 zeigt die Produktfunktionenstruktur des Induktionsgarens.

Abbildung 101 zeigt die Funktionengruppierung „Garen durch elektromagnetische Induktion und Kontaktwärme“ mit ihrem Realisierungsobjekt – dem Induktionsherd. Dieser benötigt eine Aufstellfläche von 4 m<sup>2</sup> und ist nicht stapelbar. Entsprechend stellt die Funktionengruppierung eine Flächenforderung für 4 m<sup>2</sup>.

Entwicklung von Varianten ausgehend von den Nutzungs- und Produktfunktionenstrukturen, und von der Struktur der abstrakten Funktionsbereiche

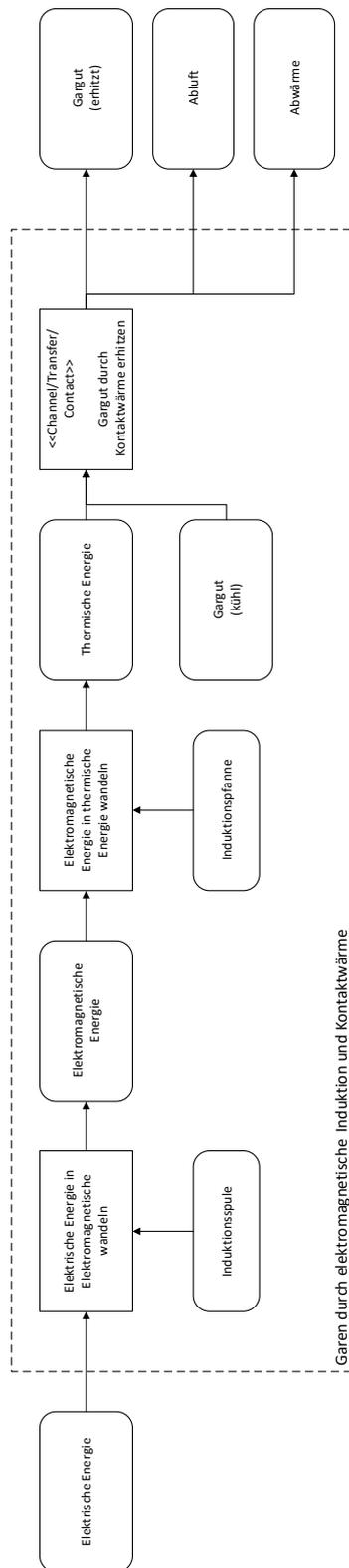


Abbildung 100: Produktfunktionenstruktur des Induktionsgarens

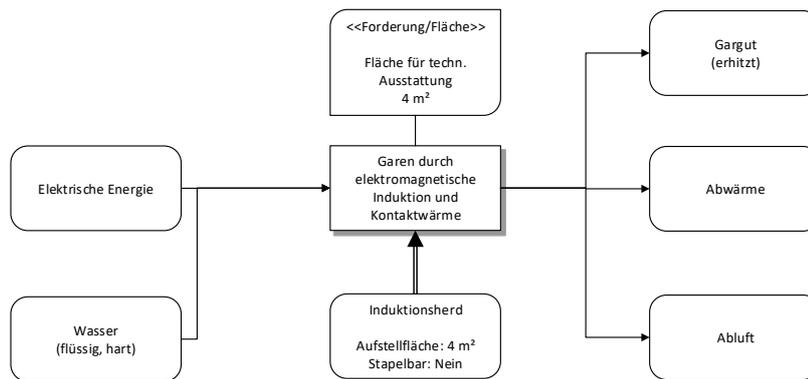


Abbildung 101: Funktionengruppierung „Garen durch elektromagnetische Induktion und Kontaktwärme“

#### 5.7.4.4 Erarbeiten der Funktionenbereichsstruktur

Das innovative Garverfahren bzw. das innovative Gerät ermöglicht eine neue Zuordnung der Nutzungsfunktionen zu Funktionenbereichen. Die Technologie ermöglicht eine Änderung des Nutzungskonzeptes, die im Folgenden dargestellt wird. Abbildung 102 zeigt die neue Zuordnung der abstrakten Funktionenbereiche für die vierte Variante. Im Produktionsbereich bleibt nur ein Funktionenbereich übrig, der die bereits erwähnten vier Nutzungsfunktionen realisiert. Die beiden Funktionen, die durch den Induktionsherd ermöglicht werden, werden von einem Funktionenbereich realisiert, welcher sich nun im Verkaufsbereich befindet. Das entspricht auch der gewünschten Optimierung – der Verlagerung von Funktionen von den Produktions- in den Verkaufsbereich.

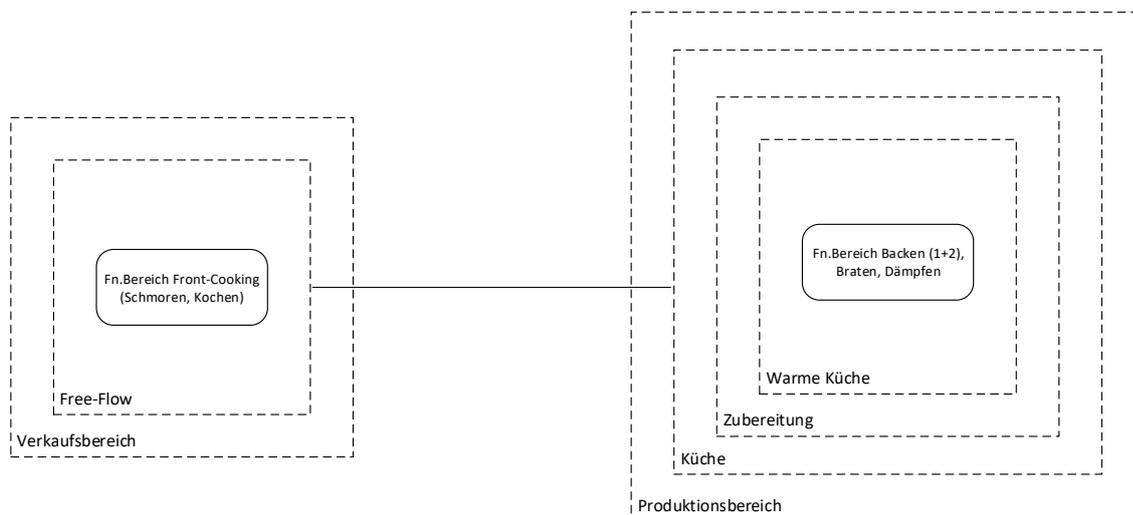
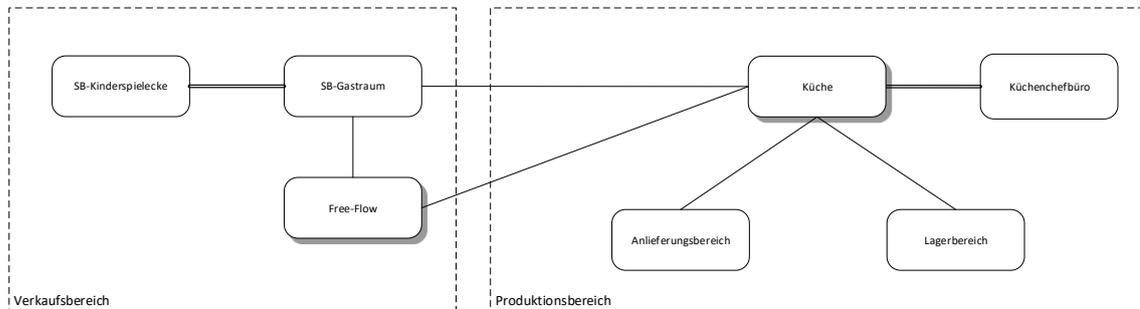


Abbildung 102: Funktionenbereichsstruktur der ersten Konzeptvariante – Verkaufsbereich und Produktionsbereich

Die Funktionenbereiche der Küche und des Free-Flows sind mit einer räumlichen Verknüpfung verbunden. Diese Verknüpfung wird auch im Übersichtsdiagramm in Abbildung 103 zum Verkaufs- und Produktionsbereich gezeigt.



**Abbildung 103: Übersicht über Verkaufs- und Produktionsbereich der dritten Konzeptvariante**

#### 5.7.4.5 Dritte Konzeptvariante: Selbstbedienung mit Free-Flow und Front-Cooking

Die neuen Möglichkeiten durch innovativen Technologien ermöglichen neue Produktfunktionen, die wiederum neuartige Zuordnungen von Funktionenbereichen zu Nutzungsfunktionen ermöglichen. D.h. dass aufgrund von Änderungen des Produktfunktionenmodells eine Änderung, bzw. eine Weiterentwicklung, des Nutzungskonzeptes von Kapitel 5.6.3 durchgeführt werden kann. Ein Teil der Zubereitungsfunktionen kann vom Produktionsbereich in den Verkaufsbereich verlegt werden. Das ermöglicht nicht nur eine Optimierung der Flächenverhältnisse zwischen Produktions- und Verkaufsbereich, sondern ermöglicht ein besseres Kundenerlebnis, welches wie ein Gästemagnet wirken kann. (Rohatsch, Lemme, Neumann, & Wagner, Grossküchen, 2002, S. 160)

Der Kunde hat im Free-Flow-Bereich die Möglichkeit, das Speiseangebot zu sehen und eine Auswahl zu treffen (siehe Abbildung 104). Diese wird zur Steuerung der Zubereitung im Free-Flow-Bereich verwendet (siehe Abbildung 107). Die Zubereitung erfordert eine wesentlich stärkere Beleuchtung und eine wesentlich höhere Luftleistung der Entlüftungsanlage. Beides ist durch entsprechende Forderungen im Modell gekennzeichnet (siehe Abbildung 107).

Darüber hinaus findet ein Informationsfluss von der Zubereitung im Free-Flow-Bereich Informationen zur Funktion „Speisen bezahlen“ über die Speisenauswahl des Kunden (siehe Abbildung 105) statt. Das verbesserte Kundenerlebnis ergibt sich vor allem dadurch, dass der Kunde den Prozess der Zubereitung miterleben kann. Hierfür ist es notwendig, dass ein Signalfluss stattfindet, der in Abbildung 107 dargestellt ist.

Vorbereitete Nahrungsmittel werden neben der Zubereitung im Küchenbereich (siehe Abbildung 104) auch der Front-Cooking-Zubereitung im Free-Flow-Bereich

zugeführt. Hierfür wird die aus der zweiten Konzeptvariante bekannte Verknüpfung zwischen Küchenbereich und Free-Flow-Bereich verwendet (siehe Abbildung 103). Die im Front-Cooking zubereiteten Speisen werden im SB-Gastraum verzehrt (siehe Abbildung 106).

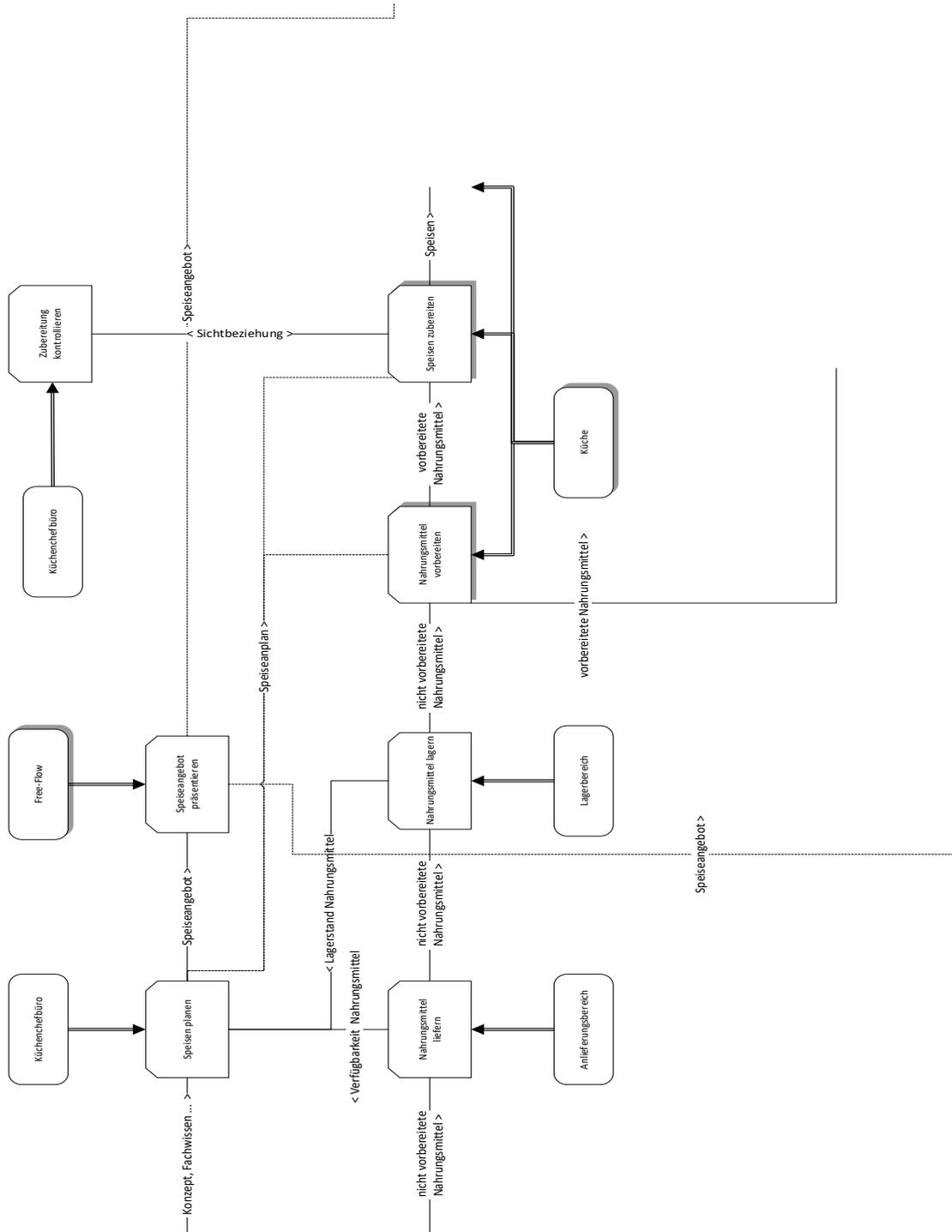


Abbildung 104: Nutzungsfunktionsstruktur der dritten Konzeptvariante, Teil 1

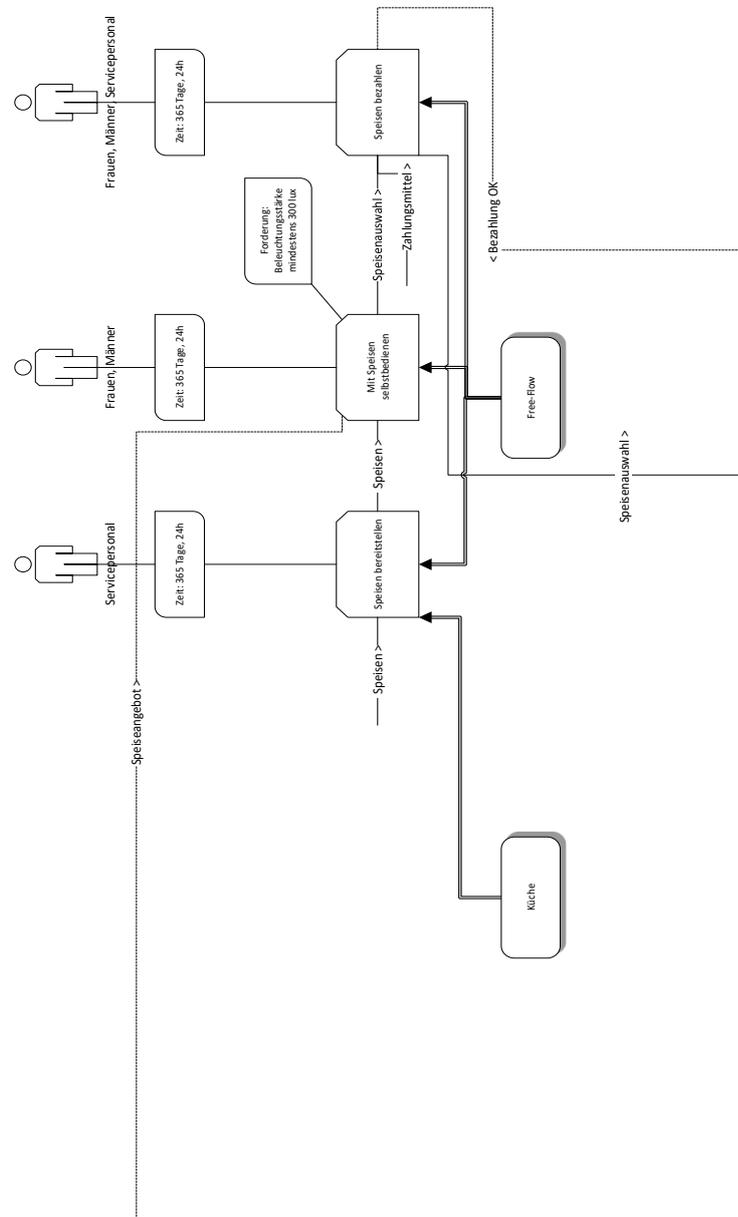


Abbildung 105: Nutzungsfunktionsstruktur der dritten Konzeptvariante, Teil 2

Entwicklung von Varianten ausgehend von den Nutzungs- und Produktfunktionenstrukturen, und von der Struktur der abstrakten Funktionenbereiche

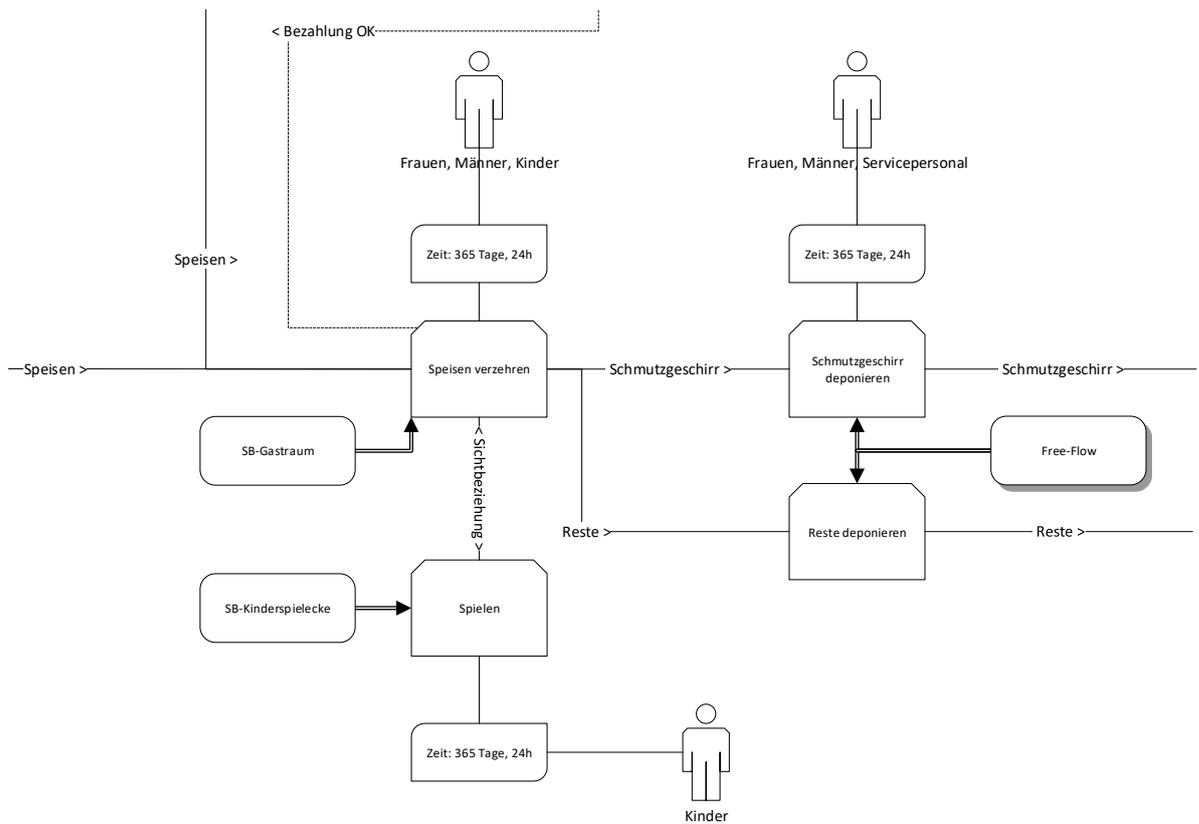


Abbildung 106: Nutzungsfunktionsstruktur der dritten Konzeptvariante, Teil 3

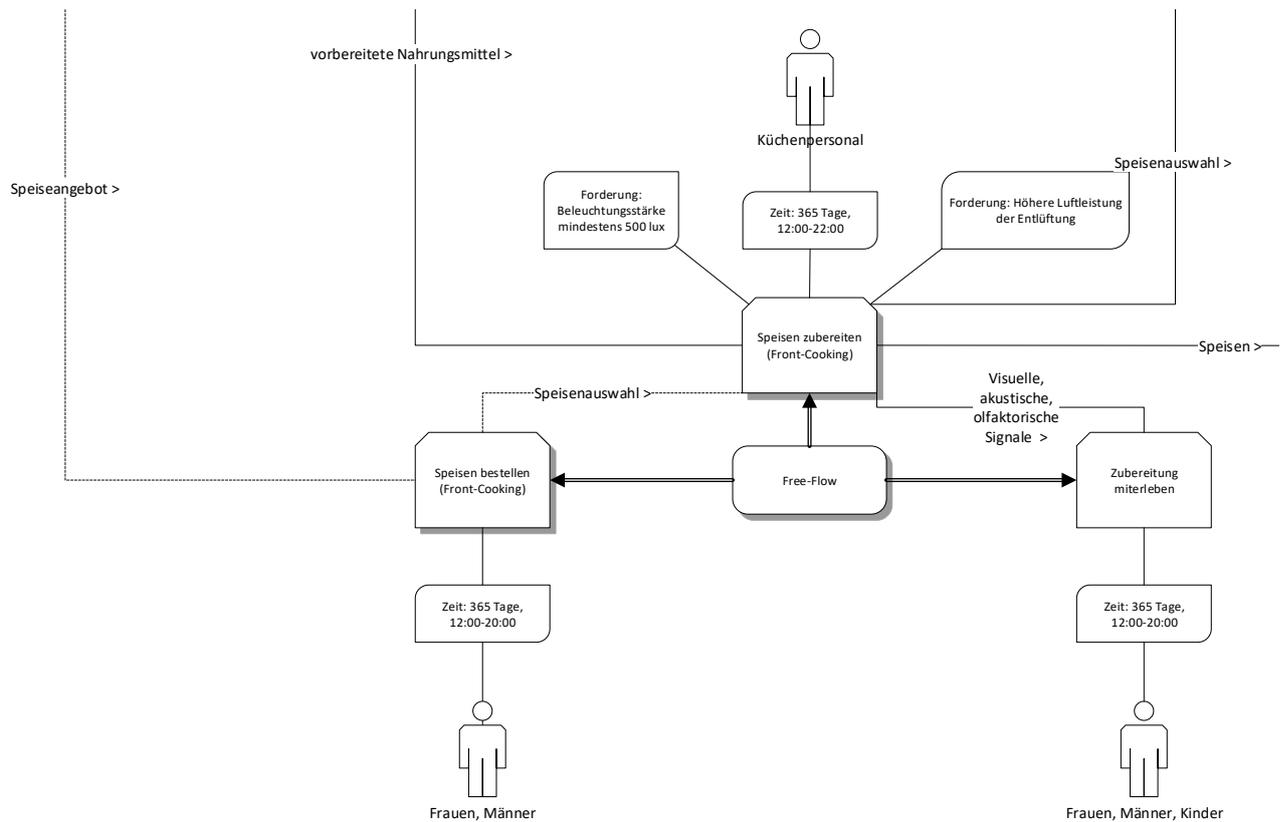
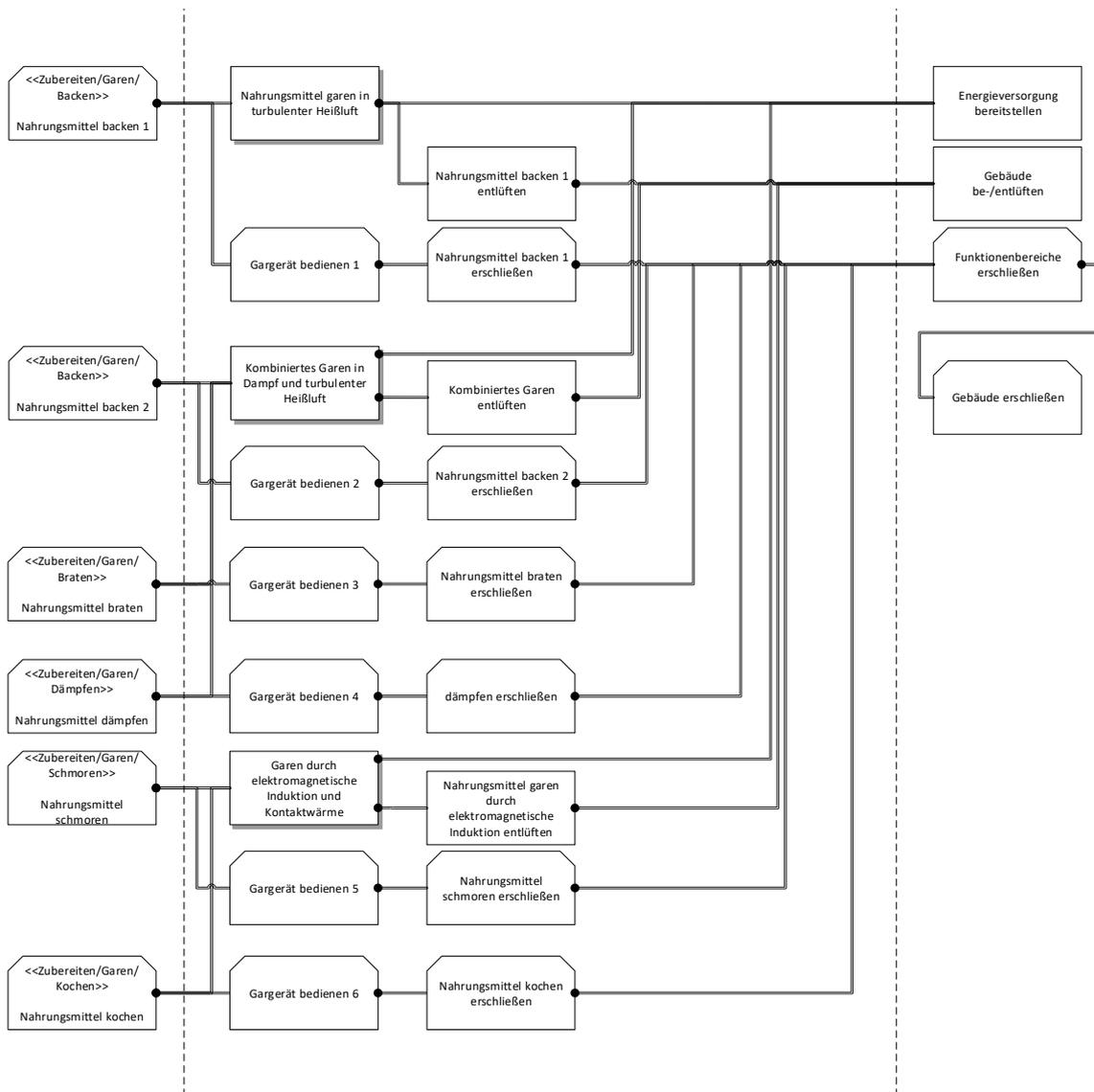


Abbildung 107: Nutzungsfunktionsstruktur der dritten Konzeptvariante, Teil 4

#### 5.7.4.6 Teleologische Analyse der Funktionen und Flächenforderungen

Aus den Änderungen an Produkt-, Nutzungsfunktions- und Funktionsbereichsstrukturen resultiert eine Änderung der teleologischen Funktionenstruktur der Zubereitungsfunktionen, die in Abbildung 108 zu finden ist. Die Erschließungsfunktionen (als Beispiel für Sekundärfunktionen) der einzelnen Basisfunktionen sind nun mit der Nutzungsfunktion „Funktionenbereiche erschließen“ verknüpft. Diese kann zu ihrer Realisierung einen weiteren Funktionenbereich bzw. Raum benötigen, der in einem nachfolgenden Schritt untersucht werden kann. Im Projekt „Autobahnraststätte 2000“ werden ähnliche Funktionen durch Funktionenbereiche wie „Kellnergang“ und „Betrieberschließungsbereich“ realisiert. Solche Funktionen werden im teleologischen Diagramm rechts neben der Funktion „Gebäude erschließen“ dargestellt (s. Abbildung 108).

## Entwicklung von Varianten ausgehend von den Nutzungs- und Produktfunktionenstrukturen, und von der Struktur der abstrakten Funktionsbereiche



**Abbildung 108: Teleologische Funktionenstruktursicht, Variante 4, Iteration 2**

Abbildung 109 zeigt die teleologische Sicht der Flächenforderungen der vierten Variante. Durch das Zusammenlegen der Nutzungsfunktionen Schmoren und Kochen wurden die betreffenden Flächenforderungen parallelisiert. Entsprechend kann auch die von diesen beiden Funktionen geforderte Fläche von 20 auf 12 m<sup>2</sup> reduziert werden. Da sich dieser Funktionsbereich im Verkaufsbereich befindet und nicht mehr im Produktionsbereich, wird die Flächenforderung des Produktionsbereiches nochmals deutlich reduziert.

Ein neues Element ist in diesem Beispiel die Flächenforderung „Funktionenbereiche erschließen“. Sie trägt der Tatsache Rechnung, dass eine räumliche Verknüpfung im Unterschied zu einer räumlichen Integration sekundäre Funktionen implizieren

kann, die ihrerseits eine entsprechende Flächenforderung stellen können. Da in dieser frühen Phase noch keine geometrischen Angaben der Räume vorhanden sind, gibt diese Flächenforderung als Wert  $Y \text{ m}^2$  an.

## Entwicklung von Varianten ausgehend von den Nutzungs- und Produktfunktionenstrukturen, und von der Struktur der abstrakten Funktionsbereiche

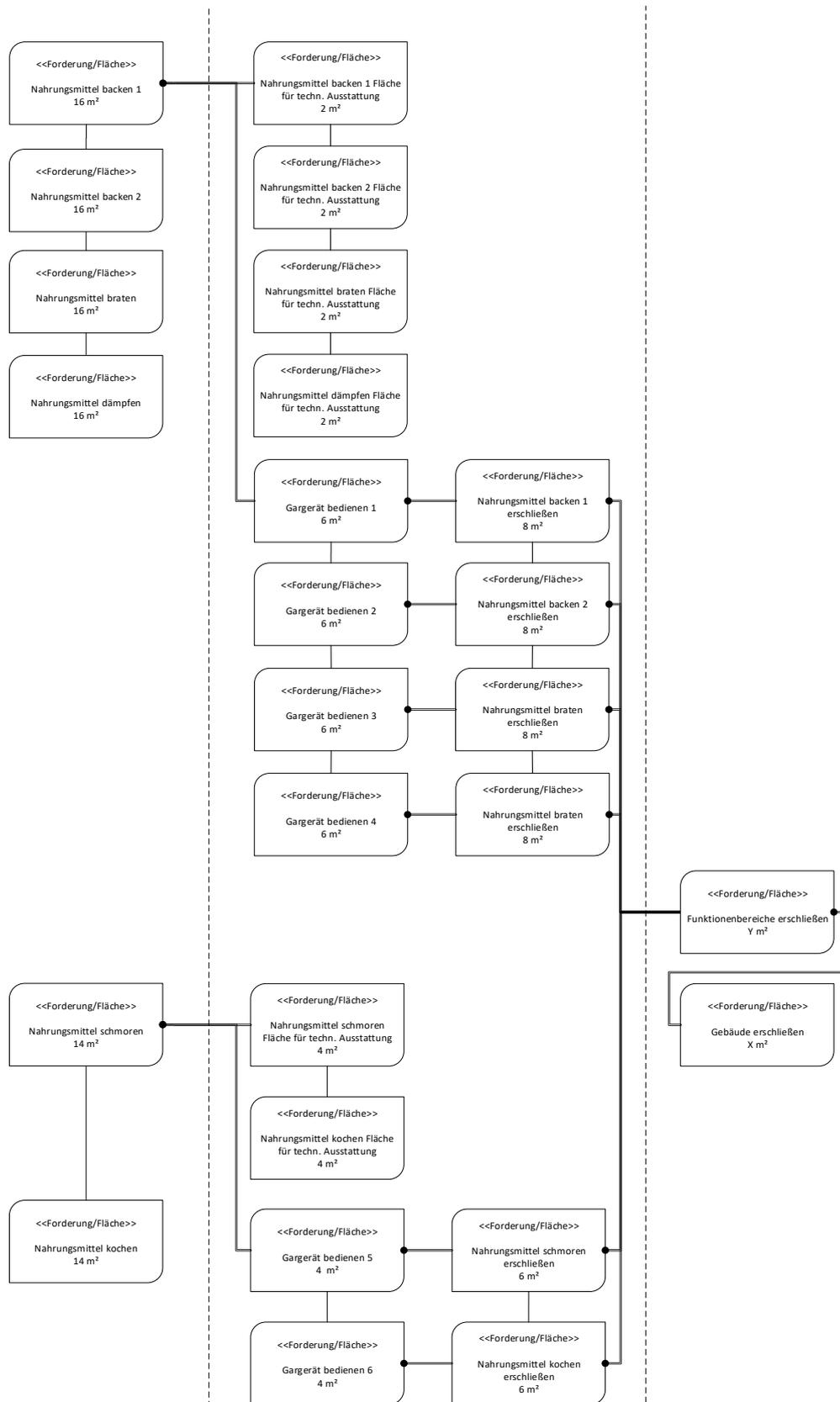


Abbildung 109: Teleologische Sicht der Flächenforderungen, Variante 4

### 5.7.5 Evaluierung der Varianten

Während die erste Variante die größten Flächenforderungen stellt, erfordert sie auch die geringsten Investitionskosten in Bezug auf die Gargeräte. Durch die Aufteilung der Funktionen in ihren jeweiligen Bereichen ist bei einer höheren Anzahl an Küchenpersonal die Flexibilität bezüglich des Zeitkontexts ebenfalls höher. Die zweite Variante reduziert den Flächenbedarf um 8 m<sup>2</sup> durch Stapeln der Realisierungsobjekte der Nutzungsfunktionen „Nahrungsmittel backen“.

Die dritte Variante ermöglicht eine schnellere, effizientere Ausführung der Nutzungsfunktionen Backen, Braten und Dämpfen durch innovative Realisierung der entsprechenden Produktfunktionen mittels eines Heißluftdämpfers. Diese Variante erfordert aber einen höheren Investitionsaufwand. Sollten mehrere Nutzer gleichzeitig verschiedene Funktionen ausführen sollen – z.B. bei einem großen Volumen an zu verarbeitenden Nahrungsmitteln, kann diese Variante an ihren Grenzen stoßen. Durch die größeren Flächenforderungen für die Nutzung der Gargeräte und für die Erschließung des Funktionsbereiches kann dem bis zu einem gewissen Maße entgegengewirkt werden.

Die letzte Variante erfordert die höchsten Investitionskosten, bietet aber neben einer erheblichen Flächeneinsparung noch den zusätzlichen Vorteil eines verbesserten Kundenerlebnisses, welches den aktuellen Trends entspricht. Darüber hinaus bietet sie als Einzige die Möglichkeit, ein innovatives Nutzungskonzept einzuführen, welches als ein Gästemagnet wirken kann.

Die folgende Tabelle zeigt eine Übersicht über die Rechenbeispiele der ermittelten Flächenforderungen der Zubereitungsvarianten:

**Tabelle 19: Übersicht der Flächenforderungen der Varianten**

Variante	Flächenforderung warme Küche	Flächenforderung Free-Flow
Variante 1	60 m <sup>2</sup>	Z m <sup>2</sup>
Variante 2	52 m <sup>2</sup>	Z m <sup>2</sup>
Variante 3	36 m <sup>2</sup>	Z m <sup>2</sup>
Variante 4	16 m <sup>2</sup>	Z + 12 m <sup>2</sup>

## 5.8 Schlussfolgerung

Eine „unscharfe“ Aufgabenstellung zur Funktionenmodellierung einer Großküche wurde in Form von Nutzungsfunktionen, Funktionenobjekten, Kontextobjekten, Produktfunktionen und abstrakten Funktionenbereichen überführt, wobei entsprechende Bezeichnungen und Taxonomien für die Entwurfsobjekte erarbeitet wurden. Hierzu wurden Hintergrundinformationen aus der Fachliteratur zur Großküchenplanung verarbeitet.

Es wurden mehrere Modellebenen abgebildet und miteinander vernetzt: Nutzungsfunktionen, Produktfunktionen und abstrakte Funktionenbereiche. Hierbei wurden unterschiedliche Sichten auf die Modelle erarbeitet, mit dessen Hilfe der Modellraum der architektonischen Konzeptplanung systematisch untersucht werden konnte. Angefangen mit den informationstechnisch und semantisch einfacheren Sichten wurden die Modelle zu den komplexeren Sichten hin systematisch aufgebaut – hierarchische und teleologische Sicht, und Flussstruktursicht der Funktionen. Mit einem fließenden Übergang wurden die Strukturen der abstrakten Funktionenbereiche und die teleologische Sicht der Flächenforderungen von den entsprechenden Nutzungsfunktionenstruktursichten abgeleitet und erarbeitet.

Am Beispiel der Nahrungsmittelvorbereitung wurde die Entwicklung von Entwurfsvarianten auf Grundlage der Modellebenen der Nutzungsfunktionen und der abstrakten Funktionenbereiche, sowie die Modellierung von Funktionenkontextobjekten veranschaulicht.

Am Beispiel der Nahrungsmittelzubereitung wurde die Entwicklung von Entwurfsvarianten auf Grundlage der Modellebenen der Nutzungs- und Produktfunktionen und der abstrakten Funktionenbereiche, sowie die Analyse und Optimierung von Funktionenstrukturen und Flächenforderungen mit Hilfe der teleologischen Sichten veranschaulicht. Darüber hinaus wurden die Wechselwirkungen zwischen Funktionsbereichsverknüpfungen, teleologischer Funktionenbeziehungen und teleologischer Flächenforderungsbeziehungen verdeutlicht.

Abschließend kann festgehalten werden, dass anhand des Modellbeispiels einer Großküchenplanung für eine Autobahnraststätte die grundlegende Tragfähigkeit der vorgestellten Konzepte zur multiskalierbaren Funktionsmodellierung in der Industrieplanung nachgewiesen ist.

## 5.9 Visio Toolbox zur multiskalierbaren Funktionenmodellierung

Zur Unterstützung der multiskalierbaren Funktionenmodellierung in der Industriepanung wurden die Bausteine der graphischen Modellierungsnotation in einer Visio-Toolbox zusammengefasst (siehe Abbildung 110). Diese schließt alle Modellelemente ein, die in den Kapiteln 4.4. bis 4.9. entworfen wurden: Funktionen, Funktionenobjekte, Funktionenkontextobjekte, und funktionale Beziehungen und Gruppierungen. Darüber hinaus sind in der Toolbox zwei Musterbeispiele für Funktionenstrukturen zu finden, jeweils in der Detail- und Übersichtsdarstellung. Diese sollen dem neuen Nutzer den Einstieg in die Funktionenmodellierung erleichtern.

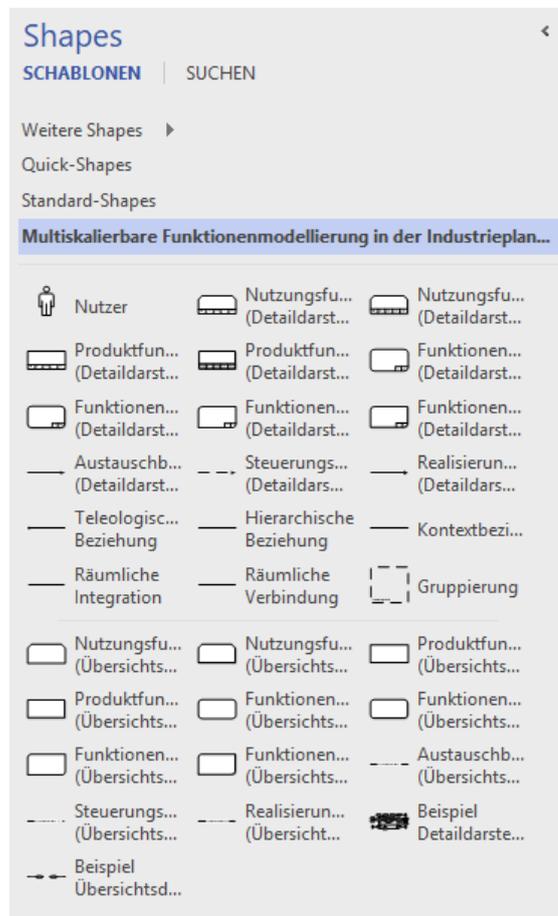


Abbildung 110: Visio Toolbox zur multiskalierbaren Funktionenmodellierung in der Industriepanung

Entwurfsobjekte werden durch Drag-and-Drop der gewünschten Notationselemente erstellt. Durch anlegen von Verknüpfungen zwischen diesen, wie z.B. Austauschbeziehungen, können die einzelnen Elemente zu einer Funktionenstruktur zusammengefügt werden.



# 6 Zusammenfassung und Ausblick

## 6.1 Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Dissertation erfolgt die Konzeption und Verifikation eines Funktionenmodells sowie eines systematischen Vorgehens zur multiskalierbaren Funktionenmodellierung in der Industrieplanung. Unter Berücksichtigung der Komplexität und Dynamik der Wechselwirkungen zwischen den zum Teil schwierig formalisierbaren Modellen und Entwurfs-elementen in den frühen Produktentwicklungsphasen werden die Modellebenen der Nutzungs- und Produktfunktionen sowie der abstrakten Funktionenbereiche im Sinne eines integralen, wissensbasierten Ansatzes abgebildet und verknüpft.

Ausgangspunkt der in dieser Arbeit entwickelten Konzepte ist die Betrachtung der Architekturentwicklung komplexer Systeme aus der Perspektive des Systems Engineering. Die Produktentwicklungsmethoden aus den Bereichen Mechatronik und Architektur weisen dabei bestimmte Gemeinsamkeiten in ihren Problemstellungen und Lösungsansätzen auf. Eine dieser Gemeinsamkeiten ist die Rolle der Funktionenmodellierung als Bindeglied zwischen den Anforderungen und der Prinziplösungen bzw. abstrakten Funktionenbereichen.

Nach der Darstellung des gewählten Lösungsansatzes und der Formulierung weiterführender Anforderungen wird in Kapitel 4 das in dieser Arbeit entwickelte multiskalierbare Funktionenmodell vorgestellt. Das systematische Vorgehen zur Funktionenmodellierung in der Industrieplanung wird auf Grundlage von Richtlinien und Forschungsergebnissen aus den Bereichen der Entwicklungsmethodik der Architektur und Mechatronik sowie aus dem Bereich der Wertanalyse/Funktionsanalyse entwickelt.

Eine wesentliche Komponente des Lösungsansatzes ist die Übertragung von Funktionenmodellierungskonzepten von den detaillierten, wissensbasierten Funktionenmodellen der Entwicklungsmethodik der Mechatronik in den Bereich der Entwicklungsmethodik der Industrieplanung. Ausgehend von diesen Modellen werden die Nutzungs- und Produktfunktionenmodelle für die Industrieplanung entwickelt. Die Modellierung erfolgt auf den Modellebenen der Nutzungs- und Produktfunktionen sowie der abstrakten Funktionenbereiche.

Aus den Bereichen Architektur und Mechatronik wird eine Reihe von Entwurfsobjektklassen identifiziert: Nutzungsfunktionen, Produktfunktionen, Nutzer, abstrakte Funktionenbereiche, Eingabeobjekte, Ausgabeobjekte, Realisierungsobjekte, Steuerungsobjekte, Funktionenkontext, Zeit, Forderungen und Wirkungen. Darüber hinaus wird eine Einteilung der Funktionen in folgenden Funktionentypen hergeleitet: Nutzungs-, Produkt- und Projektfunktionen, allgemeine, kanonische und spezielle Funktionen, Haupt-, Neben-, Gesamt-, Teilfunktionen und unerwünschte Funktionen, sowie die orthogonalen teleologischen Funktionenklassen – Übergeordnete und akzeptierte Funktionen, Basis-, Folge- und Parallelfunktionen.

Die identifizierten Entwurfsobjektklassen werden in den Kapiteln 4.4. bis 4.8. im Detail behandelt. Ihre Eigenschaften werden untersucht und ihre graphische Darstellung in der Modellierungsnotation wird vorgestellt. Letztere sieht mehrere Detaillierungsstufen der Darstellung der einzelnen Modellelemente vor. Danach werden in den Kapiteln 4.9.1. bis 4.9.7 die Beziehungen dieser Elemente zueinander untersucht. Die Eigenschaften und die graphische Darstellung der Beziehungen werden analysiert und beschrieben, wobei die graphische Darstellung mancher Beziehungen ebenfalls unterschiedliche Detaillierungsstufen einschließt.

Aufbauend auf den einzelnen Entwurfselementen und deren Beziehungen zueinander werden in den Kapiteln 4.10.1. bis 4.10.3. verschiedene Arten von Funktionsstruktursichten konzipiert, die in dieser Reihenfolge eine zunehmende Komplexität und semantische Dichte aufweisen: hierarchische und teleologische Funktionsstruktursicht, und Funktionsflussstruktursicht. Diese stellen verschiedene Aspekte der Funktionsstruktur dar und unterstützen die systematische Untersuchung des dreidimensionalen Modellraumes.

Während die Teile-Ganzes-Beziehungen der hierarchischen Sicht eine Multiplizität von 1:n aufweisen, haben die Beziehungen in den anderen beiden Sichten eine Multiplizität von n:m. Die teleologische Funktionsstruktursicht kann teleologische (Mittel-Zweck) und parallele Beziehungen zwischen Funktionen und Forderungen darstellen. Die Funktionsflussstruktursicht kann eine noch größere Bandbreite von funktionalen Beziehungen abbilden: Ein-/Ausgabebeziehungen, Steuerungsbeziehungen, Realisierungsbeziehungen und Kontextbeziehungen. Das ist auch die Funktionsstruktursicht, welche eine Verknüpfung der Nutzer mit ihrem Zeitkontext, der Nutzungsfunktionen und der abstrakten Funktionenbereiche darstellen kann. Über Realisierungsbeziehungen werden in dieser Sicht die Nutzungsfunktionen mit abstrakten Funktionenbereichen verknüpft. Diese Verknüpfungen sind ein Übergang zur Struktur der abstrakten Funktionenbereiche.

Die Struktur der abstrakten Funktionenbereiche wird in Kapitel 4.11. erarbeitet. Diese sind abstrakte räumliche Körper ohne konkrete geometrische Ausprägung,

Form oder räumlicher Lage. Zwischen ihnen können zwei Beziehungsarten existieren: räumliche Integration und räumliche Verbindung, die in der Struktur der abstrakten Funktionenbereiche dargestellt werden können. Diese Struktur kann als Schnittstelle der hier erarbeiteten Konzepte zu den weiteren Planungsphasen aufgefasst werden, da die abstrakten Funktionenbereiche ein Bindeglied zwischen den abstrakten Funktionen und den konkreten Räumen darstellen.

In Kapitel 4.12. wird das Informationsmodell der in dieser Dissertation entwickelten Konzepte erarbeitet. Dieses ist mit Hilfe der Unified Modelling Language (UML) abgebildet und kann als Konzeptmodell zur Implementierung von Softwaretools zur multiskalierbaren Funktionenmodellierung in der Industrieplanung, und zur Unterstützung eines besseren Verständnisses des Nutzungsfunktionsmodells dienen.

Der Schwerpunkt der Verifikation liegt auf dem Nachweis der Fähigkeit des vorgestellten Konzepts zur multiskalierbaren Funktionenmodellierung in der Industrieplanung, relevante funktionale Aspekte architektonischer und technischer Systeme korrekt abzubilden, explizit darzustellen und ein systematisches Arbeiten mit ihnen zu ermöglichen. Die grundlegende Tragfähigkeit der erarbeiteten Konzepte zur Funktionenmodellierung in der Konzeptplanung von Industriebauwerken wurde mit Hilfe eines Modellbeispiels aus dem Bereich der Außer-Haus-Wirtschaft nachgewiesen.

## 6.2 Ausblick

### 6.2.1 Entwicklung einer funktionenorientierten Mustersprache

Es wurde bereits erläutert, dass Funktionenstrukturen als Problembeschreibungsmuster und entsprechende Strukturen von abstrakten Funktionenbereichen als Lösungsmuster angesehen werden können. Das Konzept der Lösungsmuster bzw. der Mustersprachen stammt ursprünglich vom Architekten Christopher Alexander und wird in seinen Werken (Alexander, Notes on the synthesis of form, 1964), (Alexander, The Timeless Way of Building, 1979), (Alexander, A Pattern Language, 1977) UND (Alexander, The Oregon Experiment, 1975) untersucht. Diese Ideen fanden breite Anwendung in der Entwurfsmethodik der Informatik in der Form von verschiedenen Mustersprachen, die auf dem Werk von (Gamma, Helm, Johnson, & Vlissides, 1995) aufbauen. Darüber hinaus untersucht Roth in seinem Werk „Konstruieren mit Konstruktionskatalogen“ im Rahmen der Konstruktionslehre des Maschinenbaus funktionenorientierte Konstruktionskataloge (Roth, Konstruieren mit Konstruktionskatalogen: Band 1: Konstruktionslehre, 2000) UND (Roth, Konstruieren mit Konstruktionskatalogen: Band 2: Kataloge, 2000). Der Autor dieser Arbeit hat in (Marinov, et al., 2011) UND (Marinov, Krappe, & Ovtcharova, Anwendungen der

Funktionsmodellierung, 2007) Konzepte zur Entwicklung von funktionenbasierten Entwurfsmustern und Unterstützung der Wiederverwendung mechatronischer funktionaler Einheiten untersucht. Aus dieser kurzen Übersicht wird ersichtlich, dass ein Bedürfnis an Mustersprachen für den Entwurf komplexer, technischer Systeme erkannt wird.

Sowohl für die Entwicklungsmethodik der Mechatronik als auch für die Entwicklungsmethodik der Architektur können Funktionenmodelle als eine Analyse-Sprache bzw. als eine Problembeschreibungssprache dienen, mit deren Hilfe rechnergestützt nach entsprechenden katalogisierten Lösungen gesucht werden kann. Voraussetzung dafür sind wissensbasierte, rechnerverarbeitbare Funktionenmodelle und eben solche Lösungsmustermodelle.

Die Modelle, die in dieser Arbeit entwickelt wurden, können als eine Grundlage für die Entwicklung einer funktionenorientierten Mustersprache für die Konzeptplanung architektonischer Systeme dienen. Eine funktionenorientierte Mustersprache ist eine hervorragende Grundlage zum Einsatz von modernen Machine-Learning-Algorithmen. Diese können zur intelligenten, automatischen Klassifizierung und Suche von passenden Lösungsmustern dienen. Ergänzend zum Konzept wurde eine Visio-Toolbox zur multiskalierbaren Funktionenmodellierung in der Industriepaltung entwickelt, welche in Kapitel 5.9 vorgestellt wird.

Aus Sicht der architektonischen Nutzungsfunktionen können Lösungsmuster auf den Ebenen die abstrakten Funktionenbereiche und der Produktfunktionen beschrieben werden. Hierbei sollen sowohl die Problem- als auch die Lösungsmuster rechnerintern als Graphen dargestellt werden. Dies wird eine flexible und leistungsfähige Suche ermöglichen.

Moderne, leistungsfähige NO-SQL-Datenbanksysteme wie die Graphdatenbank Neo4J (Hunger, 2014) eignen sich hervorragend zur Handhabung großer und komplexer Graphen und benutzen spezielle Graph-Suchalgorithmen, die für eine graphbasierte Mustersuche sehr viel schneller sind als konventionelle, relationale Datenbanken. Ein erster Ansatz zur Implementierung von Funktionenmodellen mit Hilfe von Graphdatenbanken wurde von Todorova IN (Todorova, 2013) unter der wissenschaftlichen Anleitung des Autors untersucht. Im Anhang D dieser Arbeit wurden einige Beispiele für mögliche funktionenorientierte Suchmuster angegeben.

### 6.2.2 Die Funktion der Form – Einbeziehung weiterer Funktionenarten

Der Funktionenbegriff wird in der Entwicklungsmethodik der Architektur wesentlich vielschichtiger und komplexer interpretiert als in der Mechatronik (siehe Kapitel 1.1.2). Weber vertritt die Position, dass der Funktionenbegriff in der Architektur

weitere Ausdifferenzierung oder möglicherweise eine neue Definition bedarf, um als Anker für eine zukunftsweisende Gestaltungstheorie dienen zu können. (Weber, Funktionalismus als DDR und Utopie, 2012, S. 70) Architektonische Systeme können nach Weber neben Produkt- und Nutzungsfunktionen auch ästhetische, soziale, kulturelle und weitere Arten von Funktionen besitzen. (Weber, Die Funktion der Form, 1994, S. 129) Von Both identifiziert neben Produkt- und Nutzungsfunktionen auch Projektfunktionen. (von Both, 2006, S. 119) Die Funktionenanalyse unterscheidet zwischen Gebrauchs- und Geltungsfunktionen. (VDI2803, 1996, S. 3) Aus diesen Ausführungen wird ersichtlich, dass weitere Funktionenarten existieren, die untersucht werden können, um die Bandbreite der darstellbaren Probleme und Lösungen zusätzlich zu erweitern. Derartige Funktionenarten können ebenfalls in einem wissensbasierten, rechnerverarbeitbaren Modell abgebildet und mit den hier erarbeiteten Modellen integriert werden.

### 6.2.3 Entwicklung eines Softwaretools zur Funktionenmodellierung

Die in dieser Dissertation erarbeiteten Modelle umfassen mehrere Modellebenen und werden in einem systematischen Vorgehen iterativ bearbeitet. Die Komplexität der zu modellierenden Systeme führt notwendigerweise zu einer nicht zu unterschätzenden Modellkomplexität. Die erarbeiteten Konzepte sehen verschiedene Mechanismen zur Komplexitätsreduktion und –Beherrschung vor. Allerdings profitiert der Planer bei einem „manuellen“ Modellierungsvorgang weniger von den verschiedenen Sichten und Darstellungsmöglichkeiten, da er diese manuelle Synchronisierung aufwändig ist.

Um den Nutzen der Funktionenmodellierung zu erhöhen und eine benutzerfreundliche, wissensbasierte und rechnergestützte Erarbeitung der Modelle zu ermöglichen, sollte ein graphisches Modellierungswerkzeug entwickelt werden. Dieses sollte die Möglichkeit bieten, intuitiv zwischen den verschiedenen Modellebenen, -Sichten und –Darstellungsformen zu wechseln und diese automatisch zu synchronisieren. Die wissensbasierten Funktionenmodelle können als Grundlage für weitere Softwarewerkzeuge dienen wie z.B. Ontologien, Regelbasen und Algorithmen zur automatisierten Konsistenzprüfung und Verifikation des Modellraums.

### 6.2.4 Entwicklung von Konzepten zur Nutzungsfunktionsmodellierung in der Mechatronik

Im Rahmen dieser Arbeit wurden Funktionenmodellierungskonzepte aus der Mechatronik als Ausgangsbasis zur Erarbeitung der Produkt- und Nutzungsfunktionen verwendet. Wie bereits in Kapitel 1.1.3 erwähnt wurde, fehlen in der Entwicklungs-

methodik der Mechatronik wissensbasierte Nutzungsfunktionenmodelle, die kohärent zu den detaillierten Funktionenmodellen der allgemeinen, kanonischen und speziellen Funktionen sind. Der interdisziplinäre Ansatz dieser Arbeit kann weiterverfolgt werden, indem die hier erarbeiteten Konzepte für ein Nutzungsfunktionenmodell für die frühen Phasen der Entwicklung mechatronischer Systeme adaptiert werden. Dieses Modell kann mit den existierenden Produktfunktionenmodellen für die Mechatronik integriert werden.

# Literaturverzeichnis

- Akiyama, K. (1994). *Funktionsanalyse*. Landsberg: verlag moderne industrie.
- Albers, A., & Wintergerst, E. (2013). The Contact and Channel Approach (C&C<sup>2</sup>-A): relating a system's physical structure to its functionality. In L. Blessing, & A. Chakrabarti, *An Anthology of Theories and Models of Design: Philosophy, Approaches and Empirical Explorations*. Heidelberg: Springer.
- Albers, A., Burkardt, N., & Saak, M. (2002). Gezielte Problemlösung bei der Produktentwicklung mit Hilfe der SPALTEN-Methode. *Internationales Wissenschaftliches Kolloquium*. Ilmenau: Technische Universität Ilmenau.
- Albers, A., Reiß, N., Bursac, N., & Breitschuh, J. (2016). 15 Years of SPALTEN Problem Solving Methodology in Product Development. *NordDesign 2016*. Trondheim, Norway.
- Alexander, C. (1964). *Notes on the synthesis of form*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- Alexander, C. (1975). *The Oregon Experiment*. New York: Oxford University Press.
- Alexander, C. (1977). *A Pattern Language*. New York: Oxford University Press.
- Alexander, C. (1979). *The Timeless Way of Building*. New York: Oxford University Press.
- Baumann. (1990). *Zur Problematik des architektonischen Entwerfens - ein Konzept zur Aufbereitung von Gegenstand und Methoden und zur Nutzung von*

- Arbeitsmitteln.* Weimar: Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar, Dissertation.
- Benz, T. (1990). *Funktionsmodellieren als Basis zur Lösungsfindung in CAD-Systemen.* Karlsruhe: Universitätsverlag, Dissertation.
- Bielefeld, B., & El Khouli, S. (2011). *Entwurfsidee.* Basel: Birkhäuser Verlag AG.
- Daenzer, W. (1988). *System Engineering: Leitfaden zur methodischen Durchführung umfangreicher Planungsvorgehen.* Zürich: Verlag industrielle Produktion.
- Donath, D., König, R., & Petzold, F. (2012). *KREMLAS - Entwicklung einer kreativen evolutionären Entwurfsmethode für Layoutprobleme in Architektur und Städtebau.* Mühlhausen: Verlag der Bauhaus-Universität Weimar.
- dRofus Graphical function planner.* (29. Juni 2016). Von dRofus Graphical function planner: <http://www.drofus.no/en/product/modules/graphical-function-planner.html> abgerufen
- Ehrlenspiel, K. (1995). *Integrierte Produktentwicklung: Methoden der Prozessorganisation, Produkterstellung und Konstruktion.* München: Hanser Verlag.
- Engel, H. (2002). *Methodik der Architektur-Planung.* Berlin: Bauwerk Verlag GmbH.
- Fowler, M., & Scott, K. (2000). *UML Konzentriert.* München: Addison-Wesley-Verlag.
- Gamma, E., Helm, R., Johnson, R., & Vlissides, J. (1995). *Design Patterns. Elements of Reusable Object-Oriented Software.* New York: Addison-Wesley-Verlag.
- Haberfellner, R., Fricke, E., de Weck, O., & Vössner, S. (2012). *Systems Engineering Grundlagen und Anwendung.*
- Hansen, F. (1974). *Konstruktionswissenschaft: Grundlagen und Methoden.* München: Hanser Verlag.
- Hirtz, J., Stone, R., McAdams, D., Szykman, S., & Wood, K. (13 2002). A functional basis for engineering design: Reconciling and evolving previous efforts. *Research in Engineering Design*, S. 72-73.
- Huang, M. (2002). *Funktionsmodellierung und Lösungsfindung mechatronischer Produkte.* (P. D.-I. Grabowski, Hrsg.) Karlsruhe.
- Huber, R. (1994). *Wissensbasierte Funktionsmodellierung als Grundlage zur Gestaltsfindung in Konstruktionssystemen.* Aachen: Shaker-Verlag.
- Hubka, V., & Eder, E. (1988). *Theory of Technical Systems.* Berlin, Heidelberg: Springer Verlag.
- Hunger, M. (2014). *Neo4j 2.0: Eine Graphdatenbank für alle.* entwickler.press.
- Joedicke, J. (1976). *Angewandte Entwurfsmethodik für Architekten.* Stuttgart: Karl Krämer Verlag.

- Koller, R. (1994). *Konstruktionslehre für den Maschinenbau: Grundlagen zur Neu- und Weiterentwicklung technischer Produkte mit Beispielen*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Krappe, H., & Marinov, M. (März 2007). Funktionsmodellierung in der virtuellen Produktentwicklung. *CAD-CAM Report*, S. 24-27.
- Krebs, J. (2014). *Entwerfen und Wohnen*. Basel: Birkhäuser Verlag GmbH.
- Kruft, H.-W. (2004). *Geschichte der Architekturtheorie*. München: Beck-Verlag.
- Kurfman, M., Stock, M., & Stone, R. (Dezember 2003). Experimental Studies Assessing the Repeatability of a Functional Modeling Derivation Method. *Journal of Mechanical Design*, S. 682-693.
- Langlotz, G. (2000).
- Lind, M. (14. April 2008). Plant Modelling for human supervisory control. *Transactions of the Institute of Measurement and Control*, <http://tim.sagepub.com/cgi/content/abstract/21/4-5/171>, S. 171-180.
- Lind, M. (30. Juni 2016). *Modeling Goals and Functions of Complex Plant*. Von CiteSeerX: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.25.5191&rep=rep1&type=pdf> abgerufen
- Marinov, M., Gutu, D., Todorova, J., Szotz, M., Simonyi, A., & Ovtcharova, J. (2011). Representation of Cross-Domain Design Knowledge through Ontology Based Functional Models. *18th International Conference on Engineering*

- Design, 15-18 August 2011 (ICED 11)* (S. 456-467). Technical University of Denmark, Copenhagen: The Design Society.
- Marinov, M., Krappe, H., & Ovtcharova, J. (Juni 2007). Anwendungen der Funktionsmodellierung. *CAD-CAM Report*, S. 84-87.
- Marinov, M., Krappe, H., & Ovtcharova, J. (September 2007). Innovative mechatronische Produktentwicklung in virtuellen Umgebungen. *CAD-CAM Report*, S. 38-42.
- Marinov, M., Ovtcharova, J., & Awad, R. (Juni 2009). Test Driven Design in der Mechatronik Teil 1. *CAD-CAM Report*, S. 62-65.
- Marinov, M., Ovtcharova, J., & Awad, R. (Juli/August 2009). Test Driven Design in der Mechatronik Teil 2. *CAD-CAM Report*, S. 56-58.
- Marinov, M., Schubert, P., & Ovtcharova, J. (September 2008). Funktionsorientiertes Change-Management. *CAD-CAM Report*, S. 40-43.
- Moelle, H. (2006). *Rechnergestützte Planungsprozesse der Entwurfsphasen des Architekten auf Basis semantischer Modelle*. München: TU München.
- Müller, J. (1990). *Arbeitsmethoden der Technikwissenschaft*. Heidelberg, Berlin: Springer Verlag.
- Pahl, & Beitz. (1993). *Konstruktionslehre - Methoden und Anwendungen*. Berlin: Springer-Verlag.
- Rodenacker, W. (1976). *Methodisches Konstruieren, Konstruktionsbücher Band 27*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Rohatsch, M., Lemme, F., Neumann, P., & Wagner, F. (2002). *Grossküchen*. Berlin: Verlag Bauwesen.
- Rohatsch, M., Lemme, F., Neumann, P., & Wagner, F. (2002). *Grossküchen*. Berlin: Verlag Bauwesen.
- Roth, K. (2000). *Konstruieren mit Konstruktionskatalogen: Band 1: Konstruktionslehre*. Berlin: Springer Verlag.
- Roth, K. (2000). *Konstruieren mit Konstruktionskatalogen: Band 2: Kataloge*. Berlin: Springer-Verlag.
- Rude, S. (1998). *Wissensbasiertes Konstruieren*. Aachen: Shaker-Verlag.
- Scholz, A. (1984). *Konzeption eines Gebäudemodells als Beitrag zum rechnergestützten Entwurf (Dissertation)*. Weimar: Hochschule für Architektur und Bauwesen Weimar.
- Schönfeld, J. (1992). *Gebäudelehre*. Stuttgart: W. Kohlhammer GmbH.
- Schubert, P., Marinov, M., Ilieva, I., & Ovtcharova, J. (Dezember 2008). Funktionsorientierte Wiederverwendung. *CAD-CAM Report*, S. 38-44.
- Schulz, L., & Wölki, G. (2. Juni 2007). *ME-Projektbericht Autobahn-Raststätte "2000"*. Von Duisburg-Essen Publications online: <http://duepublico.uni-duisburg-essen.de/servlets/DerivateServlet/Derivate-17379/Autorast.pdf> abgerufen

- Schulz, L., & Wölki, G. (30. Juni 2016). *Autobahnraststätte "2000" Objektmatrix Teil 1 Gastorientierter Bereich*. Von <http://duepublico.uni-duisburg-essen.de/servlets/DerivateServlet/Derivate-1067/objektmatrix1.gif> abgerufen
- Schulz, L., & Wölki, G. (30. Juni 2016). *Autobahnraststätte "2000" Objektmatrix Teil 2 Personalorientierter Bereich*. Von <http://duepublico.uni-duisburg-essen.de/servlets/DerivateServlet/Derivate-1067/objektmatrix2.gif> abgerufen
- Schulz, L., & Wölki, G. (30. Juni 2016). *Autobahnraststätte "2000" Objektmatrix Teil 3 Betriebsorientierter Bereich*. Von <http://duepublico.uni-duisburg-essen.de/servlets/DerivateServlet/Derivate-1067/objektmatrix3.gif> abgerufen
- Schulz, L., & Wölki, G. (30. Juni 2016). *Autobahn-Raststätte 2000, Raumerschliessungsplan > 1. Nummerungsliste*. Von <http://duepublico.uni-duisburg-essen.de/servlets/DerivateServlet/Derivate-1067/> abgerufen
- Stamm-Teske, W., Fischer, K., & Haag, T. (2010). *Raumpilot Wohnen*. Stuttgart: Krämer-Verlag.
- Steinmann, F. (1997). *Modellbildung und computergestütztes Modellieren in frühen Phasen des architektonischen Entwurfs, Dissertation an der Fakultät*

- Bauingenieurwesen*. (P. R. Hübler, Hrsg.) Weimar: Bauhaus-Universität Weimar.
- Todorova, J. (2013). *Semi-automatic, semantic integration of functional building and user behavior models for intelligent energy management*. Karlsruhe: Karlsruher Institut für Technologie, Diplomarbeit.
- Tomizuka, M. (2000). Mechatronics: From the 20th to 21th Century. *First IFAC Conference on Mechatronic Systems, Preprints Vol. 1*, (S. 18-20). Darmstadt.
- VdF. (30. 10 2017). *Verband der Fachplaner*. Von <https://www.vdfnet.de/verband/vdf-in-der-presse/593-kuechenplanung-wirtschaftlichkeit-inklusive-29> abgerufen
- VDI2206. (2004). *Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme*. Berlin: Beuth Verlag.
- VDI2221. (1993). *Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte*. Verein Deutscher Ingenieure.
- VDI2803. (1996). *Funktionenanalyse Grundlagen und Methode*. Düsseldorf: Beuth Verlag.
- VDI2807. (2013). *Teamarbeit - Anwendung in Wertanalyse-/Value-Management-Projekten*. Berlin: Beuth-Verlag GmbH.
- von Both, P. (2006). *Ein systemisches Projektmodell für eine kooperative Planung komplexer Unikate, Dissertation an der Universität Karlsruhe (TH), Fakultät für Architektur*. Karlsruhe: Universitätsverlag Karlsruhe.
- Weber, O. (1994). *Die Funktion der Form*. Hamburg: Verlag Dr. Kovac.
- Weber, O. (Heft 32 2012). Funktionalismus als DDR und Utopie. *Wolkenkuckucksheim*, S. 67-73.
- Wikipedia. (29. 4 2016). *Wikipedia*. Von Telos (philosophy): [https://en.wikipedia.org/wiki/Telos\\_\(philosophy\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Telos_(philosophy)) abgerufen
- Yi-Luen Do, E., & Gross, M. (2001). Thinking with diagrams in architectural design. *Artificial Intelligence Review*(15).

# Anhang A: Taxonomie für spezielle Funktionenverben

Die folgende Taxonomie mit speziellen Funktionenverben (siehe Kapitel 4.8.) wurde aus (Hirtz, Stone, McAdams, Szykman, & Wood, 2002, S. 73) übernommen. Sie wird in leicht erweiterter Form im Kapitel 5 zur Modellierung von Produktfunktionen eingesetzt.

Table 5. Functional basis reconciled function set

Class (Primary)	Secondary	Tertiary	Correspondents
Branch	Separate	Divide	Isolate, sever, disjoin
		Extract	Detach, <i>isolate</i> , release, sort, split, disconnect, subtract
Channel	Distribute	Remove	Refine, filter, purify, percolate, strain, <i>clear</i>
		Import	Cut, drill, lathe, polish, sand
		Export	Diffuse, dispel, disperse, dissipate, diverge, scatter
		Transfer	Form entrance, <i>allow</i> , input, <i>capture</i>
Connect	Couple	Transport	Dispose, eject, <i>emit</i> , empty, <i>remove</i> , destroy, eliminate
		Transmit	Carry, deliver
		Guide	Advance, lift, move
		Translate	Conduct, convey
Control	Regulate	Rotate	Direct, shift, steer, straighten, switch
		Allow DOF	Move, relocate
		Join	Spin, turn
		Link	<i>Constrain</i> , unfasten, unlock
Magnitude	Change	Increase	Associate, connect
		Decrease	Assemble, fasten
		Increment	Attach
		Decrement	Add, blend, coalesce, combine, pack
Convert	Convert	Prevent	Enable, initiate, start, turn-on
		Inhibit	Control, equalize, limit, maintain
		Stop	<i>Allow</i> , open
		Convert	Close, delay, interrupt
Provision	Store	Condition	Adjust, modulate, <i>clear</i> , demodulate, invert, normalize, rectify, reset, scale, vary, modify
		Contain	Amplify, enhance, magnify, multiply
		Collect	Attenuate, dampen, reduce
		Convert	Compact, compress, crush, pierce, deform, form
Signal	Sense	Detect	Prepare, adapt, treat
		Measure	End, halt, pause, interrupt, restrain
		Track	Disable, turn-off
		Display	Shield, insulate, protect, resist
Support	Position	Process	Condense, create, decode, differentiate, digitize, encode, evaporate, generate, integrate, liquefy, <i>process</i> , solidify, transform
		Stabilize	Accumulate
		Secure	<i>Capture</i> , enclose
		Position	Absorb, consume, fill, reserve

Overall increasing degree of specification from left to right

Abbildung 111: Taxonomie zur Modellierung von speziellen Produktfunktionen, übernommen aus (Hirtz, Stone, McAdams, Szykman, & Wood, 2002, S. 73)

# Anhang B: Taxonomie für spezielle Funktionenobjekte

Im Folgenden wird die entsprechende spezielle Taxonomie aus (Hirtz, Stone, McAdams, Szykman, & Wood, 2002, S. 72) angegeben. Sie wird in Kapitel 5 in leicht erweiterter Form verwendet.

**Table 3.** Functional basis reconciled flow set

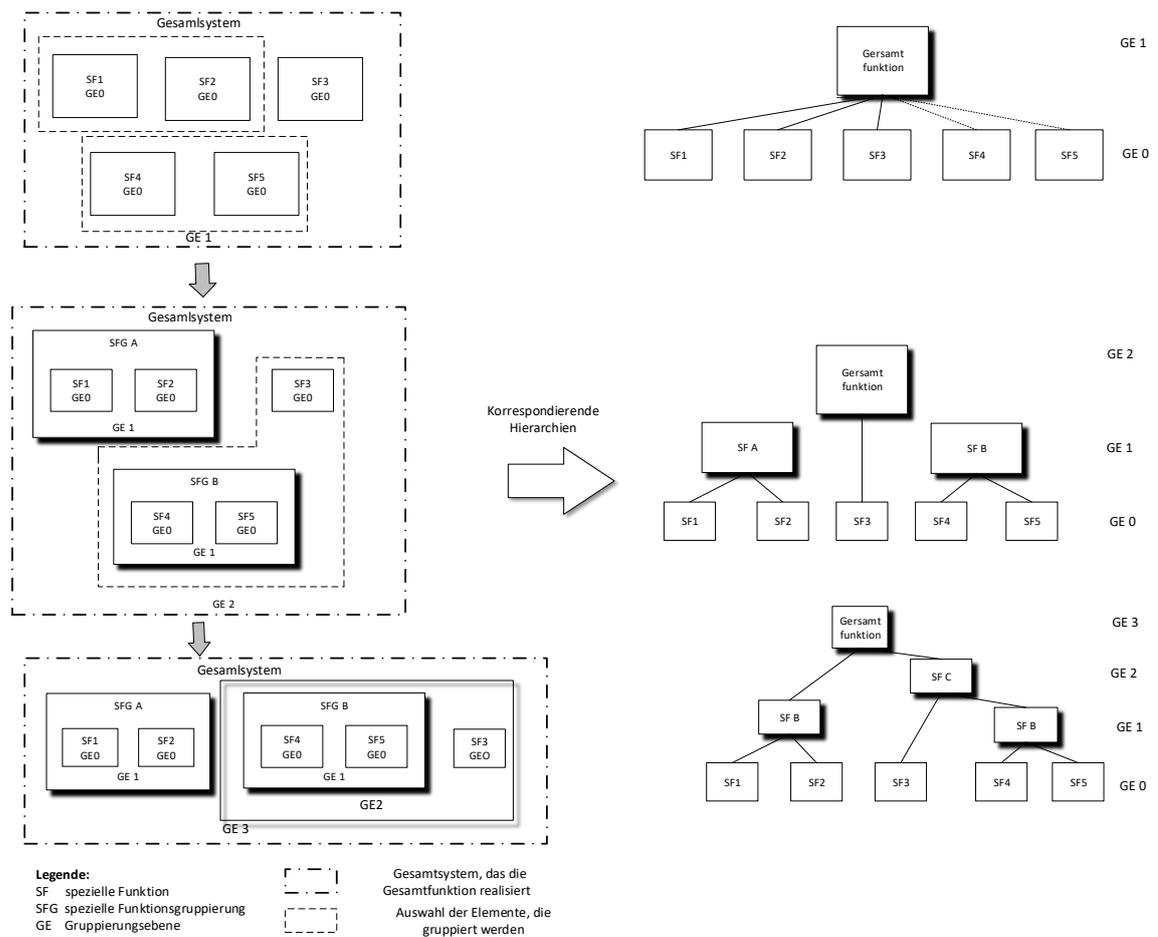
Class (Primary)	Secondary	Tertiary	Correspondents				
Material	Human Gas Liquid Solid	Object Particulate Composite	Hand, foot, head				
			Homogeneous				
			Incompressible, compressible, homogeneous Rigid-body, elastic-body, widget				
	Plasma Mixture	Gas-gas Liquid-liquid Solid-solid Solid-liquid Liquid-gas Solid-gas Solid-liquid-gas	Colloidal	Aggregate			
				Signal	Status	Auditory Olfactory Tactile Taste	Aerosol
							Tone, word
							Temperature, pressure, roughness
				Energy	Control	Visual Analog Discrete	Position, displacement
							Oscillatory
	Binary						
Human Acoustic Biological Chemical Electrical Electromagnetic	Optical Solar	Hydraulic Magnetic Mechanical	Rotational				
			Translational				
			Pneumatic				
			Radioactive/Nuclear Thermal				

Overall increasing degree of specification from left to right

**Abbildung 112: Taxonomie der speziellen Funktionenobjekten übernommen aus (Hirtz, Stone, McAdams, Szykman, & Wood, 2002, S. 72)**

# Anhang C: Beispiele für Funktionengruppierungen

Die folgenden Beispiele, die zu einem besseren Verständnis der Funktionengruppierungen dienen können, wurden von (Langlotz, 2000, S. 108-109) übernommen.



**Abbildung 113: Zusammenfassen von Funktionen zu Gruppierungen und die daraus resultierende Veränderung des Hierarchieaufbaus, übernommen aus (Langlotz, 2000, S. 108-109)**

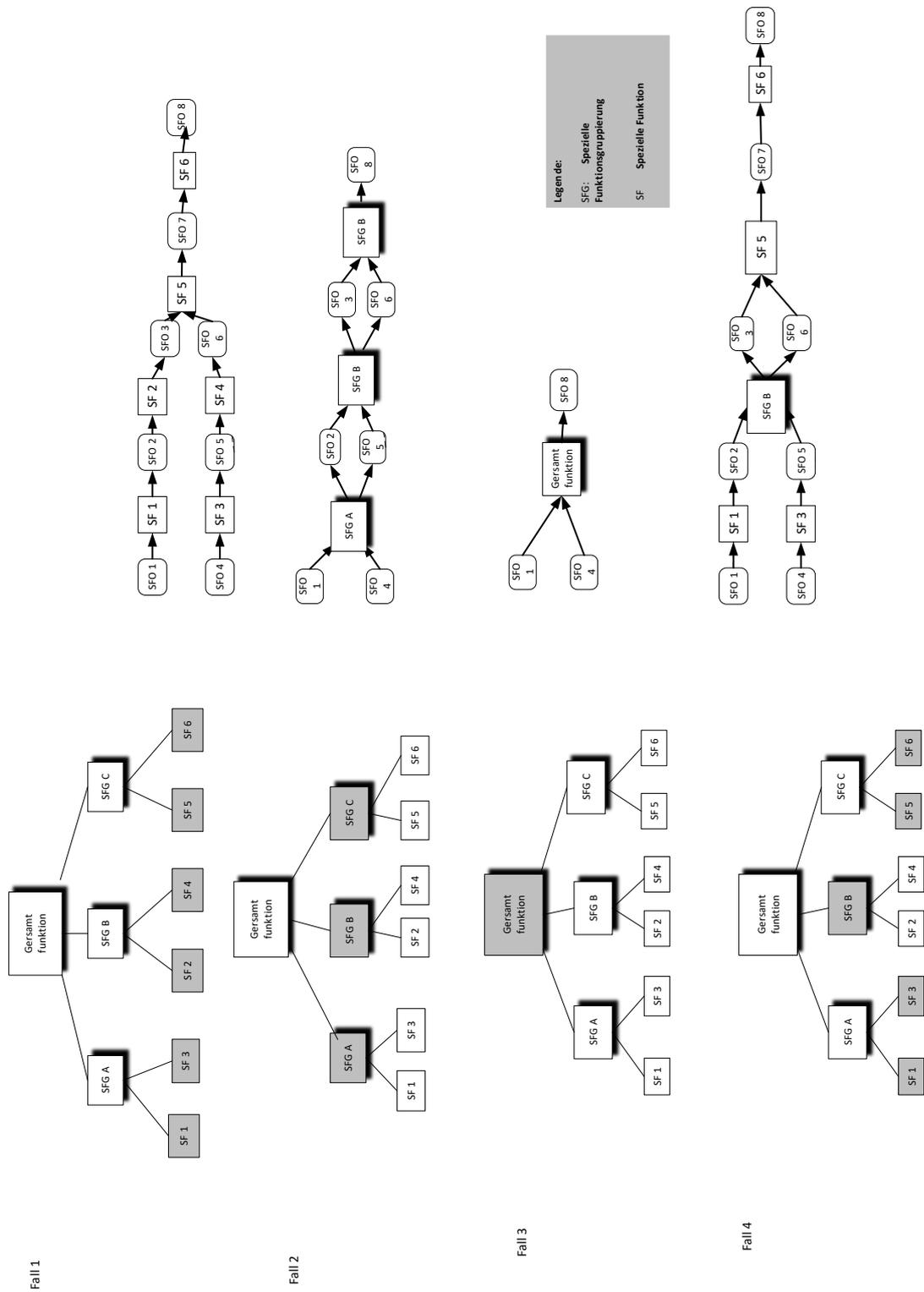


Abbildung 114: Darstellung unterschiedlich detaillierter Funktionenstrukturen durch das Anzeigen von Elementen, die bestimmten Gruppierungsebenen angehören, übernommen aus (Langlotz, 2000, S. 108-109)

# Anhang D: Katalog der geforderten Produktfunktionenmuster für ausgewählte Nutzungsfunktionen

Die folgenden Funktionenmuster dienen zum besseren Verständnis der im Ausblick vorgestellten Idee für funktionenorientierte Problem-Lösungsmuster. Sie stellen eine mögliche Form der dort beschriebenen Produktfunktionen-Suchmuster für einige der in der Verifikation verwendeten Nutzungsfunktionen dar. Aus Sicht dieser Suchmuster würden die Produktfunktionenstrukturen des Backofens, des Heißluftdämpfers und des Induktionsherdes, die in der Verifikation dargestellt sind, die entsprechenden Lösungsmuster liefern.

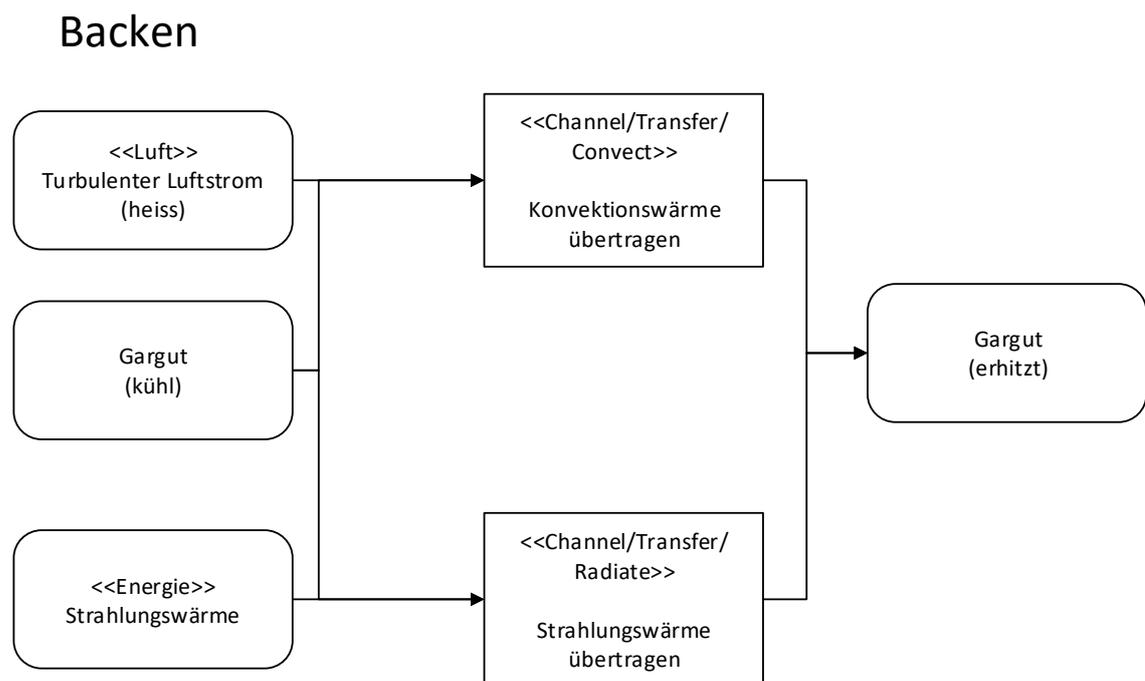


Abbildung 115: PF-Muster für die NF „Backen“

## Dämpfen

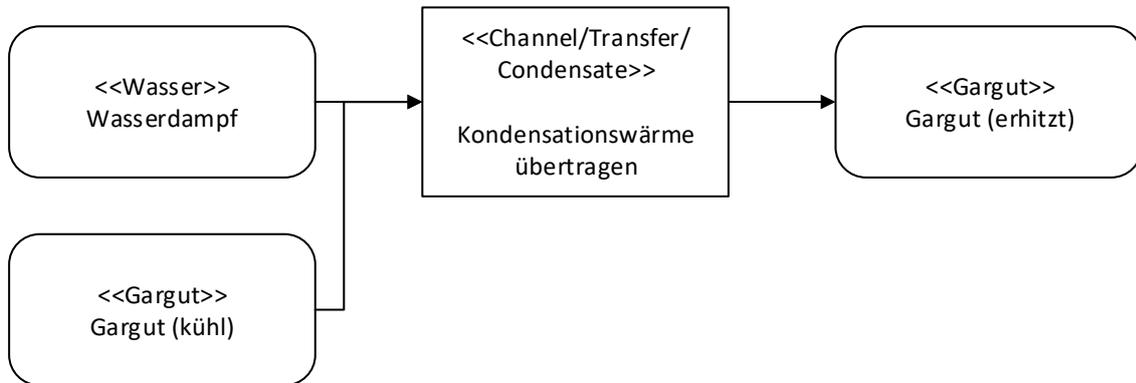


Abbildung 116: PF-Muster für die NF „Dämpfen“

## Kochen

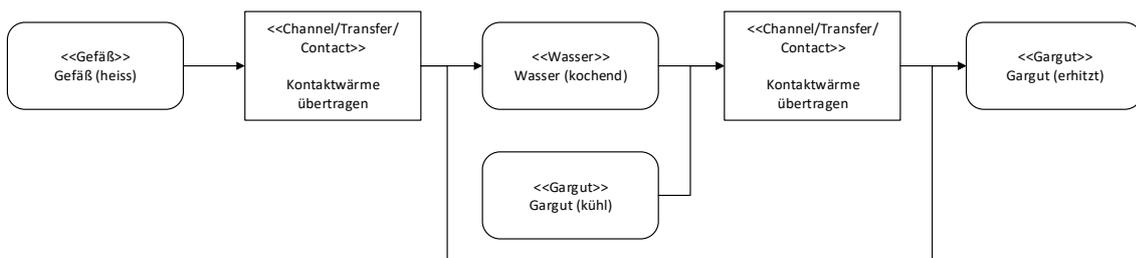


Abbildung 117: PF-Muster für die NF „Kochen“

## Braten

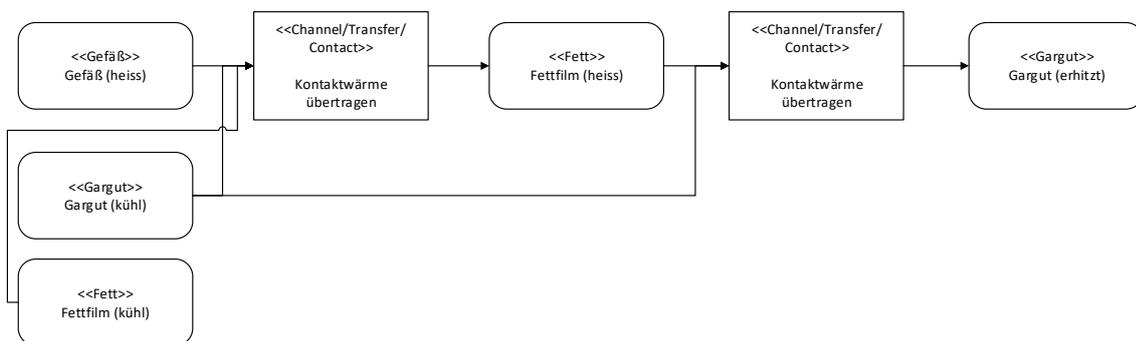


Abbildung 118: PF-Muster für die NF „Braten“

# Schmoren

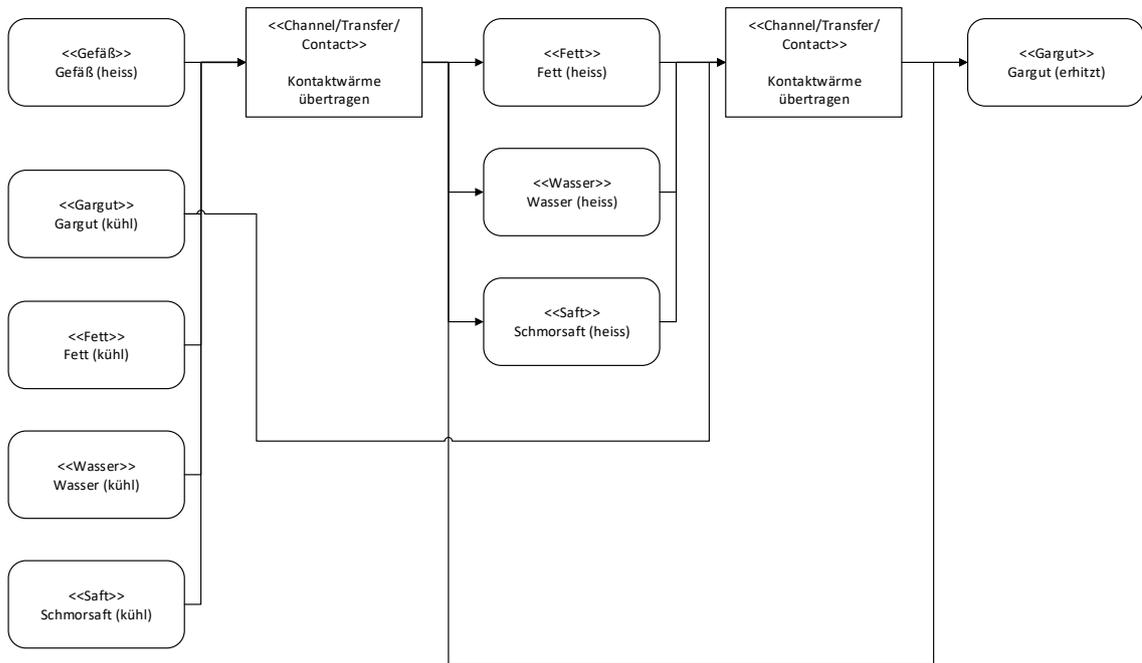


Abbildung 119: PF-Muster für die NF „Schmoren“

# Anhang E: Funktionen- und Komponentenhierarchien der Autobahn- Raststätte „2000“

Im Folgenden sind einige für das Verifikationsszenario relevante Funktionen- und Komponentenbäume aus dem Projektbericht „Autobahn-Raststätte 2000“ (Schulz & Wölki, ME-Projektbericht Autobahn-Raststätte "2000", 2007) zu finden.

## Funktionenhierarchie des gastorientierten Bereichs der Autobahnraststätte (ausgewählte Funktionen)

- Mit Speisen und Getränken bewirten
  - Speiseangebot präsentieren
  - Mit Speisen und Getränken bedienen
  - Speisen bereitstellen
    - Kalte Speisen bereitstellen
    - Dessert/Kuchen bereitstellen
    - Salat bereitstellen
    - Food-Mitnahme-Artikel bereitstellen
    - Tablett, Teller, Besteck deponieren
  - Getränke bereitstellen
    - Warme Getränke stationieren
    - Kalte Getränke stationieren
    - Gläser/Becher deponieren
  - Mit Speisen selbstbedienen
    - Mit warmen Speisen selbstbedienen
    - Mit kalten Speisen selbstbedienen
    - Mit Dessert/Kuchen selbstbedienen
    - Mit Salat selbstbedienen
    - Mit Food-Mitnahme-Artikeln selbstbedienen
    - Tablett/Teller/Besteck entnehmen
  - Mit Getränken selbstbedienen
    - Kalte
    - Warme
    - Gläser/Becher entnehmen
  - Speisen und Getränke bezahlen
  - Speisen und Getränke verzehren
  - Schmutzgeschirr deponieren
- Mit Service-Angeboten versorgen
  - ...

- Fahrzeuge parken
  - ...
- Nutzer und Objekt schützen
  - Körper säubern
  - Notdurft verrichten
  - Schaden abwehren
    - Gegen Lärm schützen
    - Gegen Blendung schützen
    - Gegen Immissionen schützen
    - Gegen Einblick schützen
    - Gegen Wärmestrahlung schützen
    - Gegen Tageslicht schützen
    - Gegen Wind schützen
    - Gegen Zugluft schützen
    - Gegen Regen schützen
  - Behaglichkeit sichern
    - Mit Wärme versorgen
    - Mit Kühlung versorgen
    - Mit Tageslicht versorgen
    - Mit Kunstlicht versorgen
    - Mit Frischluft versorgen
    - Mit Trinkwasser versorgen
    - Mit Sonnenlicht versorgen
- Objekt und Sachen benutzen
  - Objekt anschließen
    - An Verkehrsnetz anschließen
    - An Versorgungsnetz anschließen
    - An Entsorgungsnetz anschließen
  - Objekt beheizen
    - Brennstoffe lagern
    - Brennstoffe verfeuern
    - Rauchgase abführen
    - Frischluft zuführen
  - Objekt entsorgen
    - Von Abwasser entsorgen
    - Abfälle entsorgen
    - Abluft entsorgen
    - Wrasen entsorgen
    - Gerüchen entsorgen
    - Leergut entsorgen
  - Objekt erschließen
    - Zu ebener Erde erschließen
    - Höhenunterschiede überwinden
    - Für Rollstuhlbenutzer erschließen
    - Für Feuerwehr erschließen

## Funktionenhierarchie des personalorientierten Bereichs der Autobahnraststätte (ausgewählte Funktionen)

- Speisen und Getränke bereitstellen
  - Speisen planen
  - Speisen bereiten
    - Warme Speisen bereiten
      - Nahrungsmittel vorbereiten
      - Nahrungsmittel aufbereiten
      - Nahrungsmittel garen
    - Kalte Speisen bereiten
      - Nahrungsmittel vorbereiten
      - Nahrungsmittel zubereiten
  - Speisen ausgeben
    - Warme Speisen ausgeben
    - Kalte Speisen ausgeben
    - Imbiss/Grillspeisen ausgeben
  - Getränke bereiten
    - Warme Getränke bereiten
    - Kalte Getränke bereiten
  - Getränke ausgeben
  - Schmutzgeschirr zurückgeben
  - Geschirr spülen
  - Entsorgung durchführen
    - Essensreste entsorgen
    - Flaschen/Glas entsorgen
    - Verpackungsmaterial entsorgen
    - Schmutzwäsche/Textilien sammeln
- Nahrungsmittel und Getränke lagern
  - ...
- Sachmittel lagern
  - ...
- Nutzer und Objekt schützen
  - ...
  - Schaden abwehren
    - Gegen Lärm schützen
    - Gegen Blendung schützen
    - ... Einblick ...
    - ... Wärmestrahlung ...
    - ... Tageslicht ...
    - ... Wind ...
    - ... Zugluft ...
    - ... Regen ...
  - Behaglichkeit sichern

- Mit Wärme versorgen
- ... Kühlung ...
- Tageslicht
- Kunstlicht
- Frischluft
- Trinkwasser
- Sonnenlicht
- Objekt und Sachen benutzen
  - Objekt anschliessen
    - An das öffentl. Verkehrsnetz anschließen
    - An das Versorgungsnetz ...
    - Entsorgungsnetz ...
  - Objekt beheizen
    - Brennstoffe lagern
    - Brennstoffe verfeuern
    - Rauchgase abführen
    - Frischluft zuführen
  - Objekt entsorgen
    - Abwasser entsorgen
    - Abfälle entsorgen
    - Abluft, Wrasen, Gerüche entsorgen
    - Leergut entsorgen
  - Objekt erschließen
    - Zu ebener Erde erschließen
    - Höhenunterschiede überwinden
    - ... Rollstuhl, Mühl, Möbelfahrzeuge ...

## Funktionenbereiche des gastorientierten Bereichs der Autobahnraststätte 2000

Die folgende Auflistung beinhaltet ausgewählte Funktionenbereiche der Autobahnraststätte 2000. Zu einigen Funktionenbereichen sind darüber hinaus ausgewählte Funktionen angegeben, die durch *kursiver Schrift* gekennzeichnet sind.

- Verkehrsanlage
  - Parkflächen
    - Fahrgassen
    - PKW-Parkstände
    - PKW-Parkstände Behinderte
    - Bus-Parkstände
    - LKW-Parkstände
- Erholungsfläche
  - Fußgängerweg
  - Ruhefläche

- Spielrasen
- Kinderspielplatz
- Trimpfad
- Hausrundweg
- Wanderweg
- Raststätte
  - Gast-Erschliessungsbereich
    - Haupteingang/-ausgang
    - Windfang
    - Flur
    - Treppe
  - Gast-Eingangsbereich
    - Lounge
    - Kinderspielecke
      - *Psyche erholen*
        - *Spielen*
    - Serviceraum
      - Telefonanlagenplatz
      - Telefonanlagenplatz Behinderte
    - Damen-Toilette
      - Waschplatz
      - Abortplatz
    - Herren-Toilette
      - Waschplatz
      - Urinalplatz
      - Abortplatz
    - Behinderten-Toilette
    - Fernfahrer-Wasch-/Duschraum
    - Babywickelraum
  - Verkaufsbereich
    - Shop
      - Kassenplatz
    - Bar
    - Free-Flow
      - Ausgaben (Speisen- und Getränke)
      - Stationen
      - Depots
      - Kassenplatz
  - Gastraumbereich
    - SB-Gastraum
    - SB-Kinderspielecke
      - *Psyche erholen*
        - *Spielen*
    - SB-Wintergarten
    - SB-Terrasse
    - Service-Gastraum

- *Mit Speisen und Getränken bewirten*
      - *Speiseangebot präsentieren*
      - *Mit Speisen und Getränken bedienen*
  - Service-Kinderspielecke
    - *Psyche erholen*
      - *Spielen*
  - Service-Wintergarten
  - Service-Terasse
  - Fernfahrer-Gastraum
- Produktionsbereich
  - Speisenausgabe
  - Getränkeausgabe

## Funktionenbereiche des personalorientierten Bereichs der Autobahnraststätte 2000

Die folgende Auflistung beinhaltet ausgewählte Funktionenbereiche der Autobahnraststätte 2000. Zu einigen Funktionenbereichen sind darüber hinaus ausgewählte Funktionen angegeben, die durch *kursiver Schrift* gekennzeichnet sind.

- Raststätte
  - Verkaufsbereich
    - Shop
      - Kassenplatz
    - Bar
      - *Mit Speisen und Getränken bewirten*
        - *Speisen und Getränke bezahlen (Frauen, Männer, Servicepersonal)*
  - Free-Flow
    - Ausgaben
      - *mit Speisen selbstbedienen (Frauen, Männer)*
        - *mit warmen Speisen selbstbedienen (Frauen, Männer)*
        - *mit kalten Speisen selbstbedienen (Frauen, Männer)*
      - *Mit Speisen und Getränken bewirten*
        - *Speisen und Getränke bezahlen (Frauen, Männer, Servicepersonal)*
    - Stationen
      - *kalte Speisen bereitstellen (Servicepersonal)*
      - *Dessert/Kuchen bereitstellen (Servicepersonal)*
      - *Salat bereitstellen (Servicepersonal)*
      - *warme Getränke stationieren (Servicepersonal)*
      - *kalte Getränke stationieren (Servicepersonal)*

- *mit Speisen selbstbedienen*
      - *mit Dessert/Kuchen selbstbedienen (Frauen, Männer)*
      - *mit Salat selbstbedienen (Frauen, Männer)*
    - *Mit Getränken selbstbedienen*
      - *mit warmen Getränken selbstbedienen*
      - *mit kalten Getränken selbstbedienen*
  - *Depots*
    - *Schmutzgeschirr deponieren (Frauen, Männer, Servicepersonal)*
  - *Kassenplatz*
    - *Speisen und Getränke bezahlen (Frauen, Männer, Servicepersonal)*
  - *Speisen ausgeben (Küchenpersonal, Servicepersonal)*
  - *Speisen bereitstellen (Servicepersonal)*
  - *Getränke bereitstellen (Servicepersonal)*
  - *mit Speisen selbstbedienen (Frauen, Männer)*
  - *mit Getränken selbstbedienen (Frauen, Männer)*
  - *Objekt erschließen*
    - *für Rollstuhlfahrer erschließen*
  - *Behaglichkeit sichern*
    - *Mit Kunstlicht versorgen (Küchenpersonal, Servicepersonal, Magazinverwalter)*
    - *Mit Frischluft versorgen (Küchenpersonal, Servicepersonal, Magazinverwalter)*
- *Produktionsbereich*
  - *Küche*
    - *Vorbereitung*
    - *Kalte Küche*
    - *Warme Küche*
    - *Kaffee-Küche*
    - *Speisenausgabe*
    - *Getränkeausgabe*
    - *Geschirr-/Topfspüle*
    - *Speisen und Getränke herstellen*
      - *Speisen bereiten*
        - *Warme Speisen bereiten*
        - *Kalte Speisen bereiten*
      - *Getränke bereiten*
    - *Behaglichkeit sichern*
      - *mit Trinkwasser versorgen*
      - *mit Tageslicht/Kunstlicht versorgen*
      - *mit Frischluft versorgen*
  - *Kellnergang*
    - *Fussboden sauber halten*
    - *Schmutzgeschirr zurückgeben (Servicepersonal)*

- Grill-Station
  - Speisenausgabe
- Tageslagerraum
- Tageskühlraum
- Küchenchefbüro
  - *Speisen und Getränke herstellen*
    - *Speisen planen (Küchenpersonal)*
  - *Behaglichkeit sichern*
    - *mit Kunstlicht versorgen*
    - *mit Wärme versorgen*
- Anlieferungsbereich
  - ...
- Lagerbereich
  - Trockenlager
    - ...
  - Kühllager
    - ...
  - Tiefkühlager
    - ...
  - Sachmittellager
  - Leergutlager
- Wirtschaftsbereich
  - Wirtschaftshof
  - Personal-Parkplatz
  - Garage
  - Werkstatt
  - Müllraum
- Sonderbereich
  - Reinigungsgeräte-Lager
  - ...
  - ...
- Betriebserschließungsbereich
  - Aufzug