

Antonie Jetter

# Produktplanung im Fuzzy Front End

Handlungsunterstützungssystem auf der Basis  
von Fuzzy Cognitive Maps

Mit einem Geleitwort von Prof. Dr. Hans-Horst Schröder

Deutscher Universitäts-Verlag



<b>2</b>	<b>Unsicherheitsmanagement als zentrale Aufgabe der frühen Produktentstehungsphasen .....</b>	<b>38</b>
2.1	Der Begriff der Unsicherheit .....	39
2.1.1	Allgemeine Ansätze zur Charakterisierung von Unsicherheit.....	39
2.1.1.1	Subjektivität und Objektivität zur Charakterisierung von Unsicherheit.....	39
2.1.1.2	Inhaltliche Charakterisierung von Unsicherheit.....	42
2.1.1.3	Konsequenzen unterschiedlicher Charakterisierungsansätze.....	44
2.1.2	Spezieller Ansatz: Das integrierte Unsicherheitsmodell nach <i>SCHRADER ET AL.</i> .....	45
2.1.2.1	Unsicherheit als Folge der Problemeingrenzung .....	46
2.1.2.2	Bestimmungsgrößen und Auswirkungen der Problemeingrenzung.....	48
2.1.2.3	Beurteilung des integrierten Modells im Rahmen dieser Arbeit.....	50
2.2	Strategien für das Unsicherheitsmanagement.....	51
2.2.1.1	Unsicherheitsabbau durch Verkürzung der „time to market“ .....	53
2.2.1.2	Unsicherheitsabbau durch „front-loading“.....	54
2.2.1.3	Erhöhung der Unsicherheitstoleranz durch Flexibilisierung.....	55
2.3	Fazit: Unsicherheitsmanagement in den frühen Phasen der Produktentstehung.....	56
<b>3</b>	<b>Theorie und Praxis der frühen Produktentstehungsphasen .....</b>	<b>57</b>
3.1	Modelle der frühen Produktentstehungsphasen.....	57
3.1.1	Aktivitätenmodelle.....	57
3.1.2	Integrierte Front-End Modelle.....	59
3.1.2.1	Front-End Modell von <i>KHURANA</i> und <i>ROSENTHAL</i> .....	60
3.1.2.2	New Concept Development Model von <i>KOEN ET AL.</i> .....	61
3.1.3	Erfolgsorientierte Front-End Modelle .....	64
3.1.3.1	„Causal Model“ von <i>ZHANG</i> und <i>DOLL</i> .....	64
3.1.3.2	Bezugsrahmen der explorativen Studie von <i>HERSTATT, VERWORN</i> und <i>NAGAHIRA</i> .....	68
3.1.3.3	„Framework of FFE performance“ von <i>KIM</i> und <i>WILEMON</i> .....	70
3.1.4	Prozessauswahlorientiertes Front-End Modell nach <i>REINERTSEN</i> .....	73
3.1.5	Zusammenfassung: Forschungsansätze und Erkenntnisziele der FFE Forschung.....	75
3.2	Praxis der frühen Produktentstehungsphasen.....	80
3.2.1	Gestaltung des Fuzzy Front Ends .....	80
3.2.2	Einfluss des Fuzzy Front Ends auf den Produktentwicklungserfolg .....	81
3.2.3	Erfolgsfaktoren des Fuzzy Front Ends.....	82

3.2.4	Situative Einflüsse auf die optimale FFE Gestaltung .....	89
3.2.5	Zusammenfassende Betrachtung der vorliegenden Erkenntnisse.....	90
3.3	Fazit: Die frühen Phasen der Produktentstehung im Rahmen dieser Arbeit .....	92
<b>C</b>	<b>Methoden und Instrumente für die frühen Phasen der Produktentwicklung .....</b>	<b>95</b>
<b>1</b>	<b>Herkömmliche Methoden und Instrumente für die frühen Phasen der</b>	
	<b>Produktentstehung.....</b>	<b>97</b>
1.1	Allgemeine Methoden und Instrumente .....	98
1.1.1	Methoden und Instrumente für die Phase der Ideengenerierung	
	und -auswahl .....	98
1.1.1.1	Suchfeldbestimmung durch Ermittlung von	
	Kundenbedürfnissen („Demand Pull“).....	100
1.1.1.1.1	Beobachtung der Produktnutzung .....	102
1.1.1.1.2	Befragung der Nutzer .....	103
1.1.1.1.3	Verarbeitung und Interpretation der Befragungs-	
	und Beobachtungsdaten.....	104
1.1.1.2	Suchfeldbestimmung durch Ermittlung technologischer	
	Potenziale („Technology Push“) .....	110
1.1.1.2.1	Ermittlung relevanter Technologien.....	112
1.1.1.2.2	Erstellung von Technologieprognosen.....	114
1.1.1.3	Ideensuche .....	116
1.1.1.3.1	Ideensuche durch systematische Sammlung	
	von Ideen .....	116
1.1.1.3.2	Ideensuche durch Kreativitätstechniken.....	120
1.1.1.4	Ideenauswahl .....	122
1.1.1.4.1	Bewertungskriterien .....	123
1.1.1.4.2	Bewertungsverfahren.....	125
1.1.2	Methoden und Instrumente für die Phase Produktkonzeptfindung .....	129
1.1.2.1	Ermittlung von Kundenanforderungen für Produktkonzepte....	130
1.1.2.2	Konzeptentwicklung.....	132
1.1.2.3	Konzepttests .....	136
1.1.3	Methoden und Instrumente für die Phase der Projektplanung.....	137
1.1.3.1	Kostenschätzung.....	139
1.1.3.2	Design-Struktur-Matrix .....	141
1.2	Spezifische Front-End Lösungen.....	143
1.2.1	Fragenkatalog nach <i>RICE ET AL.</i> .....	143
1.2.2	Software-Tool „Galileo“ nach <i>MONTOYA-WEISS UND O'DRISCOLL</i> .....	145
1.3	Fazit: State of the Art.....	149

<b>2</b>	<b>Konzeptionelle Grundlagen neuer Methoden und Instrumente für die frühen Phasen der Produktentstehung</b> .....	<b>154</b>
2.1	Systemdenken.....	154
2.1.1	System Dynamics.....	155
2.1.2	Methode des Vernetzten Denkens .....	157
2.1.3	Soft System Methodology.....	162
2.1.4	Potenziale des Systemdenkens zur Unterstützung der frühen Phasen .....	166
2.2	Denken in Szenarien .....	167
2.2.1	Methoden zur Identifikation von Schlüsselvariablen .....	169
2.2.2	Methoden zur Prognose zukünftiger Entwicklungen.....	171
2.2.3	Methoden zur Erstellung stimmiger Zukunftsbilder.....	172
2.2.4	Potenziale des Denkens in Szenarien zur Unterstützung der frühen Phasen.....	174
2.3	„Knowledge Mapping“ .....	174
2.3.1	Wissenspsychologische Grundlagen des „Knowledge Mapping“ .....	175
2.3.1.1	Erfassung von Wissensinhalten.....	175
2.3.1.2	Erfassung von Wissensstrukturen .....	177
2.3.1.3	Erfassung umfangreicher und komplexer Wissensgefüge .....	178
2.3.1.4	Kartendarstellung von Wissensgefügen .....	180
2.3.2	Karten zur Erklärung und Unterstützung von Lernprozessen: Concept und Mind Maps.....	181
2.3.3	Karten im Wissensmanagement.....	183
2.3.3.1	Concept- und Mind Maps im Wissensmanagement.....	184
2.3.3.2	Topic Maps.....	185
2.3.4	Karten in der „Managerial Cognition“.....	189
2.3.5	Potenziale des Knowledge Mapping zur Unterstützung der frühen Phasen.....	192
2.4	Fazit – Konzeptionelle Grundlagen als Denkrichtung für neue Instrumente und Methoden .....	194
<b>3</b>	<b>Anwendung der konzeptionellen Grundlagen: neue Methoden und Instrumente</b> .....	<b>196</b>
3.1	Soft-System-Methodology für Innovationen .....	197
3.1.1	Ablauf .....	197
3.1.2	Bewertung .....	200
3.2	Szenariobasierte Produktentwicklung .....	202
3.2.1	Robuste Produktstrategien .....	203
3.2.2	Robuste technische Prinziplösungen .....	205

3.2.3	Zukunftsrobuste Produkt- und Technik-Leitbilder .....	206
3.2.4	Bewertung .....	206
3.3	Information Acceleration .....	208
3.4	Concept Maps .....	210
3.5	Bayes-Netze .....	213
3.6	Fazit .....	217
<b>D</b>	<b>Theoretische und methodische Grundlagen des Handlungs-</b>	
	<b>unterstützungssystems .....</b>	<b>221</b>
<b>1</b>	<b>Theoretische Grundlagen: handlungspsychologischer Bezugsrahmen.....</b>	<b>223</b>
1.1	Modelle und Barrieren der Handlungsregulation .....	225
1.1.1	Lernen in komplexen Handlungssituationen nach <i>STERMAN</i> .....	225
1.1.2	Prozess der Handlungsregulation nach <i>DÖRNER</i> .....	227
1.1.2.1	Zielbildung .....	228
1.1.2.2	Informationssammlung und Modellbildung .....	230
1.1.2.3	Prognose und Extrapolation .....	231
1.1.2.4	Planung, Entscheidung, Durchführung .....	232
1.1.2.5	Effektkontrolle.....	233
1.1.3	Exkurs: Barrieren der Handlungsregulation im organisationalen Kontext .....	235
1.2	Lösungsstrategien für eine erfolgreiche Handlungsregulation .....	238
1.2.1	„Microworlds“ als Lösungsstrategie nach <i>STERMAN</i> und <i>SENGE</i> .....	238
1.2.2	Training als Lösungsstrategie nach <i>ESPE</i> und <i>DÖRNER</i> .....	240
1.3	Fazit: Potenziale von „Microworlds“ bei der Handlungsregulation im Fuzzy Front End .....	245
<b>2</b>	<b>Methodische Grundlagen: Fuzzy Cognitive Maps.....</b>	<b>248</b>
2.1	Fuzzy Cognitive Maps nach <i>KOSKO</i> .....	248
2.1.1	Erweiterung „klassischer“ Cognitive Maps durch die Fuzzy Set Theorie .....	248
2.1.1.1	„Klassische“ Cognitive Maps nach <i>AXELROD</i> .....	248
2.1.1.2	Unscharfe Mengen .....	250
2.1.1.3	Komplemente unscharfer Mengen .....	250
2.1.1.4	Rechenoperationen mit unscharfen Mengen .....	251
2.1.1.5	Konzepte kognitiver Karten als unscharfe Mengen .....	251
2.1.1.6	Kausalitätsbeziehungen und unscharfe Mengen .....	251
2.1.2	Erweiterung „klassischer“ Cognitive Maps durch Theorie der neuronalen Netze .....	254
2.1.3	„Simple FCM“ nach <i>KOSKO</i> .....	256

2.2	Weiterentwicklungen und Einsatzgebiete von Fuzzy Cognitive Maps .....	258
2.2.1	Offenlegung des Kausalwissens von Experten .....	260
2.2.1.1	Expertenauswahl .....	260
2.2.1.2	Möglichkeiten zur Offenlegung von Kausalwissen .....	262
2.2.1.2.1	Möglichkeit 1: Keine explizite Offenlegung mentaler Modelle.....	263
2.2.1.2.2	Möglichkeit 2: Offene Verfahren zur Offenlegung mentaler Modelle.....	263
2.2.1.2.3	Möglichkeit 3: Verdeckte Verfahren zur Offenlegung mentaler Modelle.....	265
2.2.1.2.4	Möglichkeit 4: Kombination offen gelegter mentaler Modelle unterschiedlicher Experten.....	267
2.2.1.3	Ermittlung der Gewichte von Kausalbeziehungen .....	269
2.2.1.4	Sonderfall: Analyse quantitativer Daten statt Offenlegung von Expertenwissen.....	270
2.2.2	Erstellung des FCM-Modells.....	271
2.2.2.1	Wahl der Transferfunktion .....	273
2.2.2.2	Modellierung konditionaler Aussagen .....	275
2.2.2.3	Berücksichtigung von Zeit .....	276
2.2.3	Modelltest, Modellanwendung und Modellanpassung .....	277
2.2.3.1	Beobachtbares Systemverhalten.....	277
2.2.3.2	Wahl des Eingangsvektors .....	280
2.2.3.3	Eingangsvektor und Systemverhaltens im Testfall .....	281
2.2.3.3.1	Vergleich mit historischen Daten.....	283
2.2.3.3.2	Test auf Adäquanz der Modellgrenzen .....	285
2.2.3.3.3	Strukturanalyse.....	285
2.2.3.3.4	Extremwerttests und Sensitivitätsanalysen .....	286
2.2.3.3.5	Tests des allgemeinen Systemverhaltens .....	288
2.2.4	Interpretation der Ergebnisse .....	289
2.2.5	Verifizierung und Validierung im Prozess der FCM-Simulation und Prognose .....	290
2.3	Fazit: Fuzzy Cognitive Maps für die Erstellung von „Microworlds“ .....	295
<b>3</b>	<b>Einsatz von FCMs zur Handlungsunterstützung im FFE: Das Konzept des HAUS .....</b>	<b>296</b>
3.1	Modul 1: Situationsanalyse und Strategiewahl .....	298
3.2	Modul 2: FCM-Modellierung .....	298
3.2.1	Umfeld-Anforderungs-Modell.....	300
3.2.2	Technologie-Machbarkeits-Modell .....	301

3.2.3	Komponentenmodell.....	302
3.2.4	Gesamtprojektmodell.....	303
3.3	Modul 3: Beurteilung neuer Informationen.....	304
3.4	Modul 4: FCM Modellanwendung.....	304
3.5	Modul 5: Planung, Durchführung und Effektkontrolle .....	304
3.6	Vorläufige Beurteilung des HAUS.....	305
<b>E</b>	<b>Ausgestaltung des Handlungsunterstützungssystems.....</b>	<b>307</b>
<b>1</b>	<b>Vorüberlegungen zur Ausgestaltung des HAUS .....</b>	<b>309</b>
1.1	Vorstudien zur Erstellung von FCM-Modellen.....	310
1.1.1	Motivation und Zielsetzung der Vorstudien .....	310
1.1.2	Vorstudie 1: „Kausalkartenerstellung durch Experten“ .....	313
1.1.2.1	Probanden- und Themenwahl.....	313
1.1.2.2	Allgemeiner Ablauf der Untersuchung .....	314
1.1.2.2.1	Vorgehen zur Erfassung von Wissensinhalten.....	315
1.1.2.2.2	Vorgehen zur Erfassung von Wissensstrukturen....	316
1.1.2.3	Ergebnisse zum Prozess der Kausalkartendarstellung .....	319
1.1.2.3.1	Ergebnisse der Erfassung von Wissensinhalten .....	319
1.1.2.3.2	Ergebnisse der Erfassung von Wissens- strukturen.....	320
1.1.2.4	Ergebnisse zur Qualität der erstellten Karten.....	322
1.1.2.4.1	Vollständigkeit .....	326
1.1.2.4.2	Plausibilität.....	329
1.1.2.4.3	Zielbezug.....	330
1.1.2.4.4	Detaillierungsniveau und Differenzierung .....	331
1.1.2.4.5	Zeitliche Dimension .....	334
1.1.2.4.6	Systemverhalten .....	335
1.1.3	Fazit: Verbesserungspotenziale auf Basis der vorliegenden Ergebnisse... 337	
1.1.4	Vorstudie 2: „Gruppenkarten vs. kombinierte Individualkarten“ .....	340
1.1.4.1	Kombination von Einzelkarten.....	340
1.1.4.2	„Lernende“ FCMs durch Kartenkombination .....	343
1.1.4.3	Kombinierte Individualkarten im Vergleich mit Gruppenkarten.....	343
1.1.4.4	Verbesserungspotenziale auf Basis der vorliegenden Ergebnisse .....	347
1.1.5	Vorstudie 3: „Text-Mining zur Erstellung von Konzeptlisten“ .....	348
1.1.6	Fazit der Vorstudien: Allgemeine Leitlinien der FCM-Erstellung.....	353

1.2	Empfehlungen zur Erstellung von FCM-Modellen - Vorgehen und technische Umsetzung .....	354
1.2.1	Vorgehensmethodik .....	354
1.2.1.1	Schritt 1: Ziel- und Informationsbedarfsanalyse .....	355
1.2.1.2	Schritt 2: Informationsdeckungsanalyse .....	357
1.2.1.3	Schritt 3: Erfassung von Wissen .....	360
1.2.1.4	Schritt 4: Konzeptionelle FCM (Grobentwurf) .....	361
1.2.1.5	Schritt 5: Parametrisierte FCM (Feinentwurf) .....	362
1.2.1.6	Schritt 6: Test und Anpassung .....	363
1.2.2	Ansatzpunkte für eine Softwarelösung zur FCM-Erstellung .....	364
1.2.2.1	Architektur einer möglichen Softwarelösung .....	365
1.2.2.2	Potenziale eines Softwareeinsatzes im Rahmen der Vorgehensmethodik .....	367
1.2.2.3	Ausgewählte Funktionen einer Softwarelösung .....	369
1.2.2.3.1	Eingabe von Kausalkarten .....	369
1.2.2.3.2	Eingabe von Konzepten .....	370
1.2.2.3.3	Strukturierte Erfassung von ergänzenden Konzeptinformationen .....	371
1.2.2.3.4	Strukturierte Erfassung von Informationen zu Konzeptbeziehungen .....	372
1.2.2.3.5	Komplexitätsreduktion und Vollständigkeitskontrolle .....	372
1.3	Fazit der Vorüberlegungen zur Ausgestaltung des HAUS .....	374
<b>2</b>	<b>Die einzelnen Module des HAUS .....</b>	<b>376</b>
2.1	Einführung der Konzeptstudie „Laserreinigungsanlage für Formteilformen“ .....	377
2.1.1	Aktuelles Produkt: Mobile, automatische Reinigungsanlage für Reifenvulkanisierformen .....	377
2.1.2	Neue Produktidee: mobile, automatische Reinigungsanlage für kleine Formteilverkuanisierformen .....	380
2.1.3	Charakterisierung der Konzeptstudie .....	381
2.2	Modul 1: Situationsanalyse und Strategiewahl .....	383
2.2.1	Allgemeine Beschreibung von Modul 1 .....	383
2.2.1.1	Zielanalyse .....	383
2.2.1.2	Informationsbedarfsanalyse und Informationsdeckungsanalyse .....	386
2.2.2	Beispielhafte Anwendung von Modul 1 auf die Konzeptstudie .....	392
2.3	Modul 2: FCM-Modellierung .....	395
2.3.1	Allgemeine Beschreibung von Modul 2 .....	395

2.3.2	Beispielhafte Anwendung von Modul 2 auf die Konzeptstudie .....	398
2.3.2.1	Umfeld-Anforderungs-Modell .....	398
2.3.2.1.1	Wissenserfassung .....	398
2.3.2.1.2	FCM-Modellierung .....	402
2.3.2.2	Technologie-Machbarkeits-Modell .....	408
2.3.2.3	Komponentenmodell „YAG-Laser“ .....	414
2.3.2.4	Gesamtprojektmodell .....	416
2.4	Module 3 und 4: Beurteilung neuer Informationen und FCM- Modellanwendung .....	418
2.4.1	Allgemeine Beschreibung von Modul 3 und 4 .....	418
2.4.2	Beispielhafte Anwendung von Modul 3 und 4 auf die Konzeptstudie .....	419
2.4.2.1	Relevanzprüfung .....	420
2.4.2.2	Prognose und Extrapolation .....	422
2.4.2.3	Entscheidung .....	425
2.5	Modul 5: Planung, Durchführung und Effektkontrolle .....	426
<b>3</b>	<b>Beurteilung des HAUS</b> .....	<b>430</b>
3.1	Konzeptionelle Beurteilung des HAUS anhand der Anforderungen der Produktentstehung .....	430
3.2	Praktische Beurteilung des HAUS anhand der Konzeptstudie .....	432
<b>F</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b> .....	<b>437</b>
<b>1</b>	<b>Rückblick und Zusammenfassung</b> .....	<b>439</b>
<b>2</b>	<b>Forschungsbedarf und Ausblick</b> .....	<b>444</b>
	<b>Anhang</b> .....	<b>447</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>467</b>