

**System zur prospektiven Arbeitsgestaltung
nach den Kriterien „Persönlichkeitsentfaltung und –entwicklung“
im Rahmen von Concurrent Engineering**

Von der Fakultät für Maschinenwesen
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
zur Erlangung des akademischen Grades einer Doktorin der Ingenieurwissenschaften
genehmigte Dissertation

vorgelegt von
Diplom-Ingenieur Susanne Mütze-Niewöhner, geb. Mütze
aus
Solingen

Berichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Holger Luczak
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt.-Ing. Dr. h.c.mult. Walter Eversheim
Univ.-Prof. Dr. phil. Gudela Grote

Tag der mündlichen Prüfung: 19. Dezember 2003

D 82 (Diss. RWTH Aachen)

Schriftenreihe Rationalisierung und Humanisierung

Band 66

Susanne Mütze-Niewöhner

**System zur prospektiven Arbeitsgestaltung
nach den Kriterien "Persönlichkeitsentfaltung
und -entwicklung" im Rahmen von
Concurrent Engineering**

D 82 (Diss. RWTH Aachen)

Shaker Verlag
Aachen 2004

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

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

Zugl.: Aachen, Techn. Hochsch., Diss., 2003

Copyright Shaker Verlag 2004

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 3-8322-3308-3

ISSN 1434-8519

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • eMail: info@shaker.de

Für Andreas, Carolina und meine Eltern

Vorwort

Das Konzept des Concurrent Engineering (CE) zielt auf eine Verkürzung der Produktentstehungszeiten bei gleichzeitiger Senkung der Herstellkosten und Verbesserung der Produktqualität und fordert dazu neben der simultanen Produkt- und Prozessgestaltung auch eine simultane Gestaltung des Produktionssystems. Für eine solche frühzeitige, konzeptive Arbeitsgestaltung sind u. a. Instrumente erforderlich, die den iterativen Prozess des Entwerfens und Bewertens von Produktionstätigkeiten und -aufgaben unterstützen. Das Methodenrepertoire der CE-Forschung weist hier allerdings Defizite auf, insbesondere in Bezug auf eine prospektive Gestaltung motivations- und lernfördernder Arbeitssituationen.

Mit der Entwicklung und EDV-technischen Realisierung des in diesem Buch vorgestellten Systems zur prospektiven Arbeitsgestaltung in CE (Space+) liefert die Autorin einen Beitrag zur Aufhebung dieses methodischen und instrumentellen Defizits. Den Schwerpunkt bildet die analytische Beschreibung der Kriterien „Persönlichkeitsentwicklung/Persönlichkeitsentfaltung“. Dazu werden die Merkmale lern- und motivationsfördernder Tätigkeiten systematisch selektiert und geordnet. Unter Bezug auf arbeitspsychologische, bedingungsbezogene Ansätze und Verfahren werden die relevanten Humankriterien (z. B. Autonomie, Kooperationserfordernisse) durch die Festlegung von Einzelkriterien, relativen Kennwerten und Bewertungsvorschriften operationalisiert.

Mit Space+ steht ein System zur Verfügung, das auf die spezifischen Bedingungen einer CE-Umgebung (Unvollständigkeit von Informationen etc.) zugeschnitten ist und bereits in frühen Phasen der Produktionsgestaltung eine prospektive Modellierung und Bewertung von Produktionsaufgaben und -tätigkeiten im Hinblick auf die genannten Kriterien ermöglicht. Bezogen auf den CE-Planungsprozess bilden die Gestaltungs- und Bewertungsergebnisse die Grundlage für die Rückkopplung von Restriktionen der Produktion an das CE-Team. Umgekehrt können Anforderungen aus der Produktentwicklung frühzeitig bei der Produktionssystemgestaltung berücksichtigt und notwendige Anpassungen des entworfenen oder bestehenden Produktionssystems abgeleitet und umgesetzt werden, um einen reibungslosen Produktionsan- und -verlauf zu gewährleisten.

Holger Luczak

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Abgrenzung des Forschungsgegenstandes	4
2.1	Frühzeitige Produktionsgestaltung im Rahmen von Concurrent Engineering	4
2.2	Arbeitswissenschaftliche Gestaltungs- und Bewertungskonzepte	6
2.3	Instrumente zur Unterstützung der frühzeitigen Produktionsgestaltung – Defizite	9
2.4	Zielsetzung	12
2.5	Konzeptioneller Lösungsansatz und Aufbau der Dissertation	13
3	Bewertung von Produktionstätigkeiten in CE	16
3.1	Anforderungen an die Bewertungskomponente	16
3.1.1	Anforderungsfeld „Humanorientierte Bewertung“	16
3.1.2	Anforderungsfeld „CE-Kontext“	18
3.1.3	Anforderungsfeld „Güte“	19
3.1.4	Anforderungsfeld „Integration“	20
3.2	Untersuchung der Eignung existierender Bewertungssysteme	20
3.2.1	Vorauswahl	20
3.2.2	Kriteriengestützte Analyse, Beurteilung und Bewertung	22
3.2.2.1	Verfahren zur Analyse von Tätigkeitsstrukturen und prospektiven Arbeitsgestaltung bei Automatisierung (ATAA)	24
3.2.2.2	CNC-Leitfaden.....	27
3.2.2.3	Komplementäre Analyse und Gestaltung von Produktionsaufgaben in soziotechnischen Systemen (KOMPASS)	29
3.2.2.4	Modellgestütztes System zur Gestaltung von Gruppenarbeit (MSG).....	33
3.2.2.5	Rechnergestütztes Dialogverfahren zur psychologischen Bewertung von Arbeitsinhalten (REBA).....	34
3.2.2.6	Tätigkeitsanalyseinventar (TAI)	38
3.2.2.7	Verfahren zur Ermittlung von Regulationserfordernissen (VERA).....	39
3.2.3	Zusammenfassung der Ergebnisse	41
4	Gestaltung von Produktionstätigkeiten in CE	44
4.1	Anforderungen an die Gestaltungskomponente	44
4.2	Beurteilung des Arbeitssyntheseverfahrens Space	46
5	Entwicklung eines Systems zur prospektiven Arbeitsgestaltung in CE	52
5.1	Referenzkatalog fertigungsrelevanter Arbeitseinheiten	52
5.2	Auswertung der Qualifikationserfordernisse	57
5.3	Modelle zur Bewertung von Produktionstätigkeiten auf der Ebene der Persönlichkeitsentfaltung und -entwicklung	60
5.3.1	Bewertungsmodell Denk- und Planungsanforderungen	62
5.3.2	Bewertungsmodell Hierarchische Vollständigkeit	65
5.3.3	Bewertungsmodell Zyklische Vollständigkeit	67
5.3.4	Bewertungsmodell Autonomie.....	69
5.3.5	Bewertungsmodell Verantwortung	71

5.3.6	Bewertungsmodell Kooperations- und Kommunikationserfordernisse	72
5.3.7	Bewertungsmodell Rückmeldung	75
5.3.8	Bewertungsmodell Anforderungsvielfalt (Vielfalt der Qualifikationserfordernisse).....	77
5.3.9	Bewertungsmodell Lern- und Entwicklungsmöglichkeiten	80
5.3.10	Bestimmung der Zeiteile	81
5.3.11	Interpretationshinweise	82
5.4	Methodik zur Attribuierung von Arbeitseinheiten	83
5.5	Bereitstellung von Gestaltungsempfehlungen	89
5.6	Syntaktische Erweiterungen und Modifikationen.....	90
5.7	Prototypische Realisierung	94
5.7.1	Anforderungen an die Software	94
5.7.2	Programmierungsumgebung und Systemvoraussetzungen.....	95
5.7.3	Benutzungsoberfläche und Systemfunktionalitäten	96
6	Systemevaluation	104
6.1	Versuchsbeschreibung.....	105
6.2	Versuchsdurchführung	106
6.3	Bewertung der Tätigkeitsvarianten mit dem CNC-Leitfaden	107
6.4	Auswertung der Ergebnisse und Anpassung der Bewertungsmodelle	110
6.4.1	Reliabilität	110
6.4.2	Validität.....	111
6.4.2.1	Bewertungsmodell Denk- und Planungsanforderungen (Regulationserfordernisse).....	113
6.4.2.2	Bewertungsmodell Hierarchische Vollständigkeit.....	116
6.4.2.3	Bewertungsmodell Zyklische Vollständigkeit	119
6.4.2.4	Bewertungsmodell Autonomie	125
6.4.2.5	Bewertungsmodell Verantwortung	128
6.4.2.6	Bewertungsmodell Kooperations- und Kommunikationserfordernisse	130
6.4.2.7	Bewertungsmodell Rückmeldung	134
6.4.2.8	Bewertungsmodell Anforderungsvielfalt	135
6.4.2.9	Bewertungsmodell Lern- und Entwicklungsmöglichkeiten	139
6.4.3	Utilität	142
7	Zusammenfassung, Reflexion und Ausblick	145
8	Literatur	151
9	Anhang.....	164
9.1	Arbeitseinheiten-Referenzkatalog (Arbeitseinheiten-Deskriptoren-Matrix).....	164
9.2	Bewertungsmodelle (nach Evaluation und Modifikation)	170
9.3	Versuchsszenario und Aufgabenstellung.....	175
9.4	Versuchsablauf/Instruktionen	177
9.5	Gesamtszenario	178
9.6	Tätigkeitsmodelle der Versuchspersonen (Versuchszeitpunkte T0 und TE).....	179
9.7	Vergleichsmodelle	195
9.8	Ähnlichkeitsmatrizen.....	196

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2-1: Hierarchisches Bewertungssystem zur Bewertung von Arbeitsgestaltungsmaßnahmen nach Hacker.....	8
Abb. 2-2: Konzeptioneller Aufbau des Systems zur prospektiven Arbeitsgestaltung im Rahmen von Concurrent Engineering.....	13
Abb. 3-1: Eingrenzung des Betrachtungsraums anhand des Struktur- und Verlaufsebenenmodells des Arbeitsprozesses nach Luczak et al. (1989, S. 63).....	21
Abb. 3-2: Auszug aus dem ATAA (Ebene 3).....	26
Abb. 3-3: Frageweg-Struktur Maschinenführer (Weber et al. 1994, S. 18).....	28
Abb. 3-4: Module und Anwendungsvarianten der Methode KOMPASS (aus: Grote et al. 1999a, S. 268).....	30
Abb. 3-5: Ergebnis der Analyse und Bewertung einer Schweißertätigkeit (entnommen aus Debitz 2002, Anwendungsbeispiel).....	35
Abb. 3-6: REBA-Skalen zu den Tätigkeitsmerkmalen Widerspruchsfreiheit und Vorbildungsnutzung (Pohlandt et al. 2000).....	36
Abb. 3-7: REBA-Skala zum Tätigkeitsmerkmal Geistige Anforderungen bzw. TBS-Sammelskala zur Hierarchischen Vollständigkeit (Pohlandt et al. 2000).....	37
Abb. 3-8: Auszug aus dem Frageweg zur Ermittlung der Regulationsstufen (Oesterreich et al. 2000b, S. 86 und S. 88).....	41
Abb. 3-9: Bewertung der untersuchten Bewertungssysteme.....	42
Abb. 4-1: Anforderungen an die Gestaltungskomponente.....	45
Abb. 4-2: Bausteine von Space (vgl. Stahl 1998, S. 54).....	47
Abb. 4-3: Elemente und Notation von Space (Stahl 1998, S. 73).....	48
Abb. 5-1: Dendrogramm zur Clusteranalyse der Referenzarbeitseinheiten.....	56
Abb. 5-2: Kurzdefinitionen des VERA-Modells für Produktionsarbeit (Oesterreich 1999a, S. 544).....	63
Abb. 5-3: Bewertungsmodell Denk- und Planungsanforderungen (Regulationserfordernisse).....	64
Abb. 5-4: Bewertungsmodell Hierarchische Vollständigkeit.....	66
Abb. 5-5: Verteilung der Regulationsstufen der Referenzarbeitseinheiten.....	66
Abb. 5-6: Bewertungsmodell Zyklische Vollständigkeit.....	68
Abb. 5-7: Bewertungsmodell Autonomie.....	69
Abb. 5-8: Kurzdefinitionen des VERA-Modells für Büroarbeit (Oesterreich 1999a, S. 545).....	70
Abb. 5-9: Bewertungsmodell Verantwortung.....	71

Abb. 5-10: Bewertungsmodell Kooperations-/Kommunikationserfordernisse	74
Abb. 5-11: Bewertungsmodell Rückmeldung	76
Abb. 5-12: Bewertungsmodell Anforderungsvielfalt (Vielfalt der Qualifikationserfordernisse).....	78
Abb. 5-13: Bewertungsmodell Lern- und Entwicklungsmöglichkeiten	81
Abb. 5-14: Methodik zur Attribuierung von Arbeitseinheiten	88
Abb. 5-15: Darstellung von Kooperationsbeziehungen in Space (Stahl 1998, S. 72).....	90
Abb. 5-16: Modifizierte Darstellung von Kooperationsbeziehungen in Space+.....	91
Abb. 5-17: Darstellung von Alternativen in Space.....	92
Abb. 5-18: Äquivalente Darstellungen des kartesischen Produkts	92
Abb. 5-19: Beispiel für die falsche Verwendung von Harels „Partitioned Blob“	93
Abb. 5-20: Beispiel für die richtige Verwendung des „Partitioned Blob“ zur Alternativendar- stellung	93
Abb. 5-21: Benutzungsoberfläche, Elemente und Notation von Space+.....	96
Abb. 5-22: Registerkarten der Dialogmaske „Eigenschaften“ für das Element Arbeitseinheit.....	98
Abb. 5-23: Anzeige der Tätigkeitskennwerte und Histogramme (Beispiel: Tätigkeit eines Drehers)	99
Abb. 5-24: Anzeige der Qualifikationserfordernisse (Beispiel: Tätigkeit eines Drehers).....	100
Abb. 6-1: Verteilung und Entwicklung der Space+-Daten für die Kennwerte $ZgRS$ und DP_{TK} ..	114
Abb. 6-2: Rangkorrelationsergebnisse für den Kennwert $ZgRS$	115
Abb. 6-3: Rangkorrelationsergebnisse für den Kennwert DP_{TK}	116
Abb. 6-4: Verteilung und Entwicklung der Space+-Daten und Rangkorrelationsergebnisse für den Kennwert HV	117
Abb. 6-5: Bestimmung eines Referenzprofils für hierarchisch vollständige Produktionstätig- keiten auf der Grundlage der Expertenmodelle.....	118
Abb. 6-6: Verteilung und Entwicklung der Space+-Daten und Rangkorrelationsergebnisse für HV_{ref}	119
Abb. 6-7: Verteilung und Entwicklung der Space+-Daten und Rangkorrelationsergebnisse für den Kennwert $ZgZV$	120
Abb. 6-8: Überarbeitetes Bewertungsmodell zur zyklischen Vollständigkeit.....	121
Abb. 6-9: Verteilung und Entwicklung der Space+-Daten und Rangkorrelationsergebnisse für den Kennwert ZV bei gleicher Gewichtung von ZV_{HTK} und ZV_{PTK}	123
Abb. 6-10: Verteilung und Entwicklung der Space+-Daten und Rangkorrelationsergebnisse für den Kennwert ZV bei Höhergewichtung von ZV_{HTK} ($z_1 = 2/3, z_2 = 1/3$).....	123

Abb. 6-11: Verteilung und Entwicklung der Space+-Daten und Rangkorrelationsergebnisse für den Kennwert ZV bei Höhergewichtung von ZV_{PTK} ($z_1 = 1/3, z_2 = 2/3$)	124
Abb. 6-12: Verteilung und Entwicklung der Space+-Daten bei Gleichgewichtung von FgI_{TK} und FgZ_{TK} ($a_1 = a_2 = 1/2$)	125
Abb. 6-13: Rangkorrelationsergebnisse bei Gleichgewichtung von FgI_{TK} und FgZ_{TK}	126
Abb. 6-14: Verteilung und Entwicklung der Space+-Daten bei unterschiedlicher Gewichtung von FgI_{TK} und FgZ_{TK}	126
Abb. 6-15: Rangkorrelationsergebnisse bei Höhergewichtung der zeitlichen Freiheitsgrade FgZ_{TK} ($a_1 = 1/3, a_2 = 2/3$).....	127
Abb. 6-16: Verteilung und Entwicklung der Space+-Daten für den Kennwert V bei unterschiedlichen Gewichtungsverhältnissen zwischen FgI_{TK} und FgZ_{TK}	128
Abb. 6-17: Rangkorrelationsergebnisse für den Kennwert V bei unterschiedlichen Gewichtungsverhältnissen zwischen FgI_{TK} und FgZ_{TK}	129
Abb. 6-18: Verteilung und Entwicklung der Space+-Daten für die Kennwerte KS_{TK} und $ZgKS$	130
Abb. 6-19: Verteilung und Entwicklung der Space+-Daten für den Kennwert K bei unterschiedlichen Gewichtungsverhältnissen zwischen $ZgKS$ und KV_{TK}	133
Abb. 6-20: Rangkorrelationsergebnisse für den Kennwert K bei Gleichgewichtung von $ZgKS$ und KV_{TK} ($k_1 = k_2 = 1/2$)	134
Abb. 6-21: Rangkorrelationsergebnisse für den Kennwert K bei Höhergewichtung von KV_{TK} ($k_1 = 1/4, k_2 = 3/4$).....	134
Abb. 6-22: Verteilung und Entwicklung der Space+-Daten und Rangkorrelationsergebnisse für den Kennwert R	135
Abb. 6-23: Verteilung und Entwicklung der Space+-Daten bei Gleichgewichtung von AV_{KF} und AV_{Fges} ($av_1 = av_2 = 1/2$).....	136
Abb. 6-24: Verteilung und Entwicklung der Space+-Daten bei unterschiedlicher Gewichtung von AV_{KF} und AV_{Fges}	137
Abb. 6-25: Rangkorrelationsergebnisse bei Gleichgewichtung von AV_{KF} und AV_{Fges}	138
Abb. 6-26: Rangkorrelationsergebnisse bei Höhergewichtung von AV_{KF} ($av_1 = 2/3$ und $av_2 = 1/3$)	138
Abb. 6-27: Verteilung und Entwicklung der Space+-Daten für den Kennwert LE bei Gleichgewichtung der Einzelkennwerte ($l_1 = l_2 = l_3 = 1/3$)	139
Abb. 6-28: Rangkorrelationsergebnisse für den Kennwert LE bei Gleichgewichtung der Einzelkennwerte ($l_1 = l_2 = l_3 = 1/3$).....	140

Abb. 6-29: Verteilung und Entwicklung der Space+-Daten für den Kennwert <i>LE</i> bei unterschiedlicher Gewichtung der Einzelkennwerte	141
Abb. 7-1: Module von Space+	145
Abb. 9-1 bis Abb. 9-32: Tätigkeitsmodelle der Versuchspersonen (Versuchszeitpunkte T0 und TE)	179
Abb. 9-33: Vergleichsmodell T0 / einfacher Maschinenbediener	195
Abb. 9-34: Vergleichsmodell TE / Meistertätigkeit	195

Tabellenverzeichnis

Tab. 2-1: Beispiele für CE-Maßnahmen (entnommen aus Stahl 1998, S. 15).....	9
Tab. 3-1: Ausgewählte Verfahren für die kriteriengestützte Feinanalyse.....	23
Tab. 5-1: Übersicht über die an der Erarbeitung des Referenzkataloges beteiligten Experten.....	54
Tab. 5-2: Referenzkatalog fertigungsrelevanter Arbeitseinheiten	57
Tab. 5-3: Qualifikationsmerkmale (Fähigkeitsattribute) in Space (vgl. Stahl 1998, S. 91ff.).....	59
Tab. 5-4: Zugehörigkeitsfunktionen der Space-Deskriptoren (Beispiel).....	59
Tab. 5-5: Wertebereiche für die Einstufung der Qualifikationserfordernisse	60
Tab. 5-6: Allgemeine Definitionen	62
Tab. 5-7: Festlegung der Kooperationsstufen bzw. der Stufenintervalle auf der Basis der Auswertung der Qualifikationserfordernisse der Kooperationselemente.....	75
Tab. 5-8: Kategorien der Verrichtungselemente als Basis für die Ermittlung der Anforderungsvielfalt in Bezug auf Kenntnisse und Fertigkeiten	79
Tab. 5-9: Attribuierung der Arbeitseinheiten-Cluster	84
Tab. 5-10: Identifizierung von Teilmengen bei den clusterspezifischen Deskriptorenkombina- tionen (Anzahl gleicher Deskriptoren in %).....	87
Tab. 5-11: Ergonomische Dialoggestaltung nach DIN EN ISO 9241-10 im Prototyp Space+ (Teil 1).....	101
Tab. 5-12: Ergonomische Dialoggestaltung nach DIN EN ISO 9241-10 im Prototyp Space+ (Teil 2).....	102
Tab. 6-1: Versuchsteilnehmer	107
Tab. 6-2: Skalierung der Bewertungskriterien des Leitfadens	108
Tab. 6-3: Bewertungsprofile der Aufgabentypen.....	109
Tab. 6-4: Klassifizierung der Tätigkeitsvarianten.....	110
Tab. 6-5: Durchschnittliche Ähnlichkeiten der Tätigkeitsmodelle (Ähnlichkeitsmaß „einfache Übereinstimmung“).....	111
Tab. 6-6: Abdeckung der maximalen Bandbreite für die Kennwerte $ZgRS$ und DP_{TK}	115
Tab. 6-7: Abdeckung der maximalen Bandbreite für die Kennwerte HV und HV_{ref}	119
Tab. 6-8: Einteilung der Referenzarbeitseinheiten nach der Zyklusart.....	122
Tab. 6-9: Abdeckung der maximalen Bandbreite für den Kennwert ZV in Abhängigkeit des Gewichtungsverhältnisses $ZV_{HTK} : ZV_{PTK}$	124
Tab. 6-10: Abdeckung der maximalen Bandbreite für den Kennwert A in Abhängigkeit des Gewichtungsverhältnisses $FgI_{TK} : FgZ_{TK}$	127

Tab. 6-11: Abdeckung der maximalen Bandbreite für den Kennwert V in Abhängigkeit des für V_3 gewählten Gewichtungsverhältnisses $FgI_{TK} : FgZ_{TK}$	129
Tab. 6-12: Abdeckung der maximalen Bandbreite für den Kennwert K in Abhängigkeit des Gewichtungsverhältnisses $ZgKS : KV_{TK}$	132
Tab. 6-13: Abdeckung der maximalen Bandbreite für den Kennwert AV in Abhängigkeit des Gewichtungsverhältnisses $AV_{KF} : AV_{Fges}$	137
Tab. 6-14: Abdeckung der maximalen Bandbreite für den Kennwert LE in Abhängigkeit des Gewichtungsverhältnisses $LE_{ITK} : LE_{2TK} : LE_{3TK}$	142
Tab. 6-15: Rangkorrelationskoeffizienten für den Kennwert LE in Abhängigkeit des Gewichtungsverhältnisses $LE_{ITK} : LE_{2TK} : LE_{3TK}$	142
Tab. 7-1: Erfüllung der Anforderungen und weitere Forschungs- und Entwicklungsaufgaben (Teil 1)	148
Tab. 7-2: Erfüllung der Anforderungen und weitere Forschungs- und Entwicklungsaufgaben (Teil 2)	149