
ifab

Forschungsberichte aus dem
Institut für Arbeitswissenschaft
und Betriebsorganisation der
Universität Karlsruhe (TH)

Sven Rottinger

**Mehrphasige Personalentwicklungs-
planung für Fertigungssysteme auf Basis
des Technologiekalender-Konzeptes**

Band 35 - 2005



universitätsverlag karlsruhe

ifab

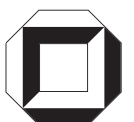
Forschungsberichte aus dem
Institut für Arbeitswissenschaft
und Betriebsorganisation der
Universität Karlsruhe (TH)

Herausgeber:
Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing.
Gert Zülch

Band 35 - 2005

Sven Rottinger

Mehrphasige Personalentwicklungs- planung für Fertigungssysteme auf Basis des Technologiekalender-Konzeptes



Dissertation, Universität Karlsruhe (TH), Fakultät für Maschinenbau, 2004

Impressum

Universitätsverlag Karlsruhe
c/o Universitätsbibliothek
Straße am Forum 2
D-76131 Karlsruhe

www.uvka.de

© Universitätsverlag Karlsruhe 2005
Print on Demand

ISSN 1436-3224
ISBN 3-937300-39-2

Vorwort des Herausgebers

Die Aussage, dass der Mensch die wichtigste Ressource im Produktionsunternehmen darstellt, findet sich an vielerlei Stellen, sei es in pragmatischen Äußerungen von Führungskräften, in praxisorientierten und wissenschaftlichen Veröffentlichungen oder auch in Ausschreibungen nationaler und internationaler Institutionen der Forschungsförderung. Dabei wird immer wieder betont, dass menschliche Ressourcen im Gegensatz zu den meisten maschinellen vor allem in qualitativer Hinsicht (z.B. hinsichtlich der Beherrschung von Arbeitsaufgaben) flexibel anpassungsfähig sind. Darüber hinaus bleibt der Mensch – zumindest in positiven bis neutralen konjunkturellen und strukturellen Situationen – dem Unternehmen vielfach über einen sehr langen Zeitraum erhalten, und auch dies unterscheidet die menschlichen Ressourcen von den maschinellen, die oftmals nur für begrenzte Nutzungszeiträume produktiv eingesetzt werden können.

Während sich die Betriebswirtschaftslehre schon seit vielen Jahrzehnten mit der Fristigkeit der Nutzung von Betriebsmitteln befasst, und zwar vorrangig im Bereich der Investitionsrechnung, hat sich die Betriebsorganisation in den letzten Jahrzehnten unter dem Gesichtspunkt der Instandhaltung diesem technisch-wirtschaftlichen Aspekt zugewandt. Auf Seiten des Personalwesens und der Arbeitswissenschaft wird die Bedeutung der Personalplanung betont, was vor allem seinen Niederschlag in deren Verankerung im Betriebsverfassungsgesetz gefunden hat. Dennoch ist festzustellen, dass die methodische Fundierung der langfristigen Personalplanung mit ihrer Berücksichtigung zukünftiger Entwicklungsmöglichkeiten gegenüber den technisch-wirtschaftlichen Instrumentarien weit zurücksteht.

Zur Berücksichtigung von langfristigen Veränderungen in Produktionsunternehmen wurde in Deutschland vor allem das Technologiekalender-Konzept vielfach diskutiert. Der Grundgedanke dieses Konzeptes besteht darin, die zukünftigen Entwicklungen im Bereich der Erzeugnisse und Fertigungstechnologien auf jeweils einer Zeit-

achse graphisch darzustellen, um daraus dann die notwendigen technischen und organisatorischen Anpassungsmaßnahmen abzuleiten. Eine Betrachtung der damit verbundenen personalbezogenen Konsequenzen fand dabei allerdings bisher nicht statt.

Dieser Mangel wird in der vorliegenden Arbeit thematisiert und zu seiner Behebung eine Ergänzung des Technologiekalender-Konzeptes entwickelt. Diese besteht aus der Hinzufügung einer dritten Zeitachse, welche die Personalentwicklung zu den Erzeugnis- und Fertigungstechnologieentwicklungen hinzufügt. Daraus ergeben sich dann Zeitfenster, so genannte Personalentwicklungsfenster, in welche die notwendigen personellen Entwicklungsmaßnahmen, die erst den erfolgreichen Einsatz der zukünftigen Technologien möglich machen, eingeordnet werden können. Mit diesem Konzept können dann die personellen Maßnahmen besser als bisher mit den technologischen Entwicklungen synchronisiert und vor allem auch rechtzeitig eingesteuert werden.

Ist dieses Konzept auch einleuchtend, so ergeben sich aus seiner Umsetzung insbesondere hinsichtlich der Langfristigkeit eine Reihe zu klärender Fragen. Für jeden Technologieschritt ergibt sich zunächst einmal die Frage, wie die bestehende Personalstruktur (nach Anzahl und Qualifikation der Mitarbeiter) an die neue Technologie angepasst werden soll. Die zu lösende Planungsaufgabe wird noch komplexer dadurch, dass diese Anpassungen über mehrere Schritte der Technologieentwicklung hinweg erfolgen müssen. Ein iteratives Vorgehen von Entwicklungsschritt zu Entwicklungsschritt würde die Gefahr in sich bergen, dass eine für den ersten Entwicklungsschritt günstige Lösung sich für die nachfolgende Entwicklung als ungünstig erweisen kann. Daher muss sich die Vorteilhaftigkeit der Personalentwicklung über alle Entwicklungsschritte hinweg messen lassen. Hierfür wird ein schlüssiges Konzept entwickelt, das – wie anhand zweier praktischer Fälle gezeigt wird – eine wirkungsvolle Unterstützung der langfristigen Personalentwicklungsplanung darstellt.

Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing.
Gert Zülch

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Inhaltsverzeichnis | 1 |
| 1. Defizite der Personalentwicklungsplanung | 9 |
| 1.1 Anforderungen an die Personalentwicklung im Fertigungsbereich | 9 |
| 1.1.1 Einfluss der Erzeugnisenwicklung auf die Personalentwicklung | 9 |
| 1.1.2 Einfluss der Fertigungstechnologie- und Organisationsentwicklung auf die Personalentwicklung | 11 |
| 1.1.3 Berücksichtigung personalbezogener Aspekte bei der Personalentwicklung | 13 |
| 1.1.4 Defizite einer reaktiven Personalentwicklung | 13 |
| 1.2 Problemstellung und Zielsetzung der Arbeit | 14 |
| 1.3 Methodik und Aufbau der Arbeit | 15 |
| 2. Stand der Personalentwicklungsplanung | 19 |
| 2.1 Begriffsabgrenzungen | 19 |
| 2.1.1 Formale Begriffsdefinitionen zur Personalentwicklungsplanung | 19 |
| 2.1.1.1 Zeitpunkte und Entwicklungsschritte | 19 |
| 2.1.1.2 Planungsphasen und Personalentwicklungsfenster | 20 |
| 2.1.2 Personalentwicklungsplanung im Kontext der Personalplanung | 23 |
| 2.2 Aktuelle Tendenzen der Personalentwicklungsplanung | 25 |
| 2.2.1 Humanorientierung in der Betriebswirtschaftslehre | 25 |
| 2.2.2 Wandel der Qualifikationsanforderungen | 27 |
| 2.2.3 Stellenwert der Personalentwicklung im Unternehmen | 29 |

| | | |
|---------|---|----|
| 2.3 | Integration der Personalentwicklungsplanung in die Unternehmensplanung | 29 |
| 2.3.1 | Strukturierte Instrumente | 30 |
| 2.3.2 | Personal-Portfolios | 31 |
| 2.3.3 | Lebenszyklus-Instrumente | 32 |
| 2.3.4 | Konzepte zur Integration betrieblicher Teilplanungen | 32 |
| 2.3.4.1 | Integration der Erzeugnis- und Fertigungstechnologieentwicklung in die Organisationsentwicklung | 33 |
| 2.3.4.2 | Technologiekalender-Konzepte | 33 |
| 2.4 | Methoden zur Planung der Personalentwicklung | 37 |
| 2.4.1 | Statische Methoden | 38 |
| 2.4.2 | Rechnerunterstützte Methoden | 39 |
| 2.4.3 | Personalintegrierte und personalorientierte Simulation | 39 |
| 2.4.4 | Simulationsunterstützte Methoden zur Personalentwicklungsplanung | 41 |
| 3. | Simulationsumgebung auf Basis des Technologiekalender-Konzeptes | 46 |
| 3.1 | Auswahl des Verfahrens | 46 |
| 3.1.1 | Das personalorientierte Simulationsverfahren <i>ESPE</i> | 47 |
| 3.1.2 | Aufbau des Simulationsverfahrens <i>ESPE-PE</i> | 49 |
| 3.2 | Modellierung des mehrphasigen Entwicklungsprozesses von Fertigungssystemen | 50 |
| 3.2.1 | Modellierung der mehrphasigen Erzeugnisentwicklung | 51 |
| 3.2.1.1 | Quantitative Erzeugnisentwicklung in <i>ESPE-PE</i> | 51 |
| 3.2.1.2 | Qualitative Erzeugnisentwicklung in <i>ESPE-PE</i> | 53 |
| 3.2.1.3 | Auswirkungen der Erzeugnisentwicklung auf die Personalentwicklung | 54 |

| | | |
|---------|---|-----|
| 3.2.2 | Modellierung der mehrphasigen Fertigungstechnologieentwicklung | 55 |
| 3.2.2.1 | Veränderung von Durchführungszeiten | 55 |
| 3.2.2.2 | Reduzierung von Zwischenzeiten | 56 |
| 3.2.2.3 | Veränderte Anforderungen an Umfeldaufgaben | 56 |
| 3.2.2.4 | Auswirkungen der Technologieentwicklung auf die Personalentwicklung | 59 |
| 3.2.3 | Personalentwicklung auf Basis des Technologiekalender-Konzeptes | 60 |
| 3.3 | Kriterien zur Bewertung von Fertigungssystemen | 63 |
| 3.3.1 | Formale Begriffsdefinitionen zur Personalentwicklungsplanung | 64 |
| 3.3.1.1 | Personalstrukturen im Fertigungssystem | 64 |
| 3.3.1.2 | Qualifikationen im Fertigungssystem | 66 |
| 3.3.2 | Produktionslogistische Bewertung | 72 |
| 3.3.2.1 | Auswahl der Zielkriterien | 72 |
| 3.3.2.2 | Fertigungsaufträge und Arbeitsvorgänge | 73 |
| 3.3.2.3 | Durchlaufzeitgrad | 76 |
| 3.3.2.4 | Abarbeitungsgrad | 82 |
| 3.3.2.5 | Personalauslastung | 83 |
| 3.3.3 | Monetäre Bewertung von Personalstrukturen | 86 |
| 3.3.3.1 | Berechnung der Personaleinsatzkosten | 86 |
| 3.3.3.2 | Berechnung der Personalentwicklungskosten | 88 |
| 3.3.4 | Bewertung personalbezogener Zielsetzungen | 92 |
| 3.3.4.1 | Bekannte Bewertungskriterien | 92 |
| 3.3.4.2 | Sequenzielle Vollständigkeit von Arbeitsaufgaben | 94 |
| 3.3.4.3 | Personalentwicklungspotenzial | 100 |
| 3.3.5 | Definition von Zielerreichungsgraden | 107 |
| 3.3.5.1 | Universalistenstruktur und kostengünstige Personalstruktur | 107 |
| 3.3.5.2 | Produktionslogistischer Zielerreichungsgrad | 108 |
| 3.3.5.3 | Monetärer Zielerreichungsgrad | 110 |

| | | |
|---------|---|-----|
| 3.3.5.4 | Personalbezogener Zielerreichungsgrad | 113 |
| 3.3.5.5 | Berechnung des Gesamtzielerreichungsgrads | 116 |
| 4. | Verfahren zur Generierung von Planungslösungen für die Personalentwicklung | 118 |
| 4.1 | Verfahrensbeschreibung | 118 |
| 4.2 | Heuristischer Suchalgorithmus zur Qualifikationsanpassung | 122 |
| 4.2.1 | Vorgehensweise des Suchalgorithmus | 122 |
| 4.2.2 | Zielgerichtete Anpassung von Personalstrukturen | 124 |
| 4.2.2.1 | Strategie der bevorzugten Qualifikationserweiterung | 124 |
| 4.2.2.2 | Strategie der bevorzugten Qualifikationsvereinfachung | 128 |
| 4.2.2.3 | Zielgerichtete Anpassung der Anzahl Personen einer Personalstruktur | 130 |
| 4.3 | Generierung alternativer Personalstrukturen | 131 |
| 4.3.1 | Plausibilitätsüberlegungen bei der Personalentwicklung | 131 |
| 4.3.2 | Personalstruktur mit minimalen Personalentwicklungskosten | 132 |
| 4.3.3 | Personalstruktur mit verbesserter produktionslogistischer Zielerreichung | 134 |
| 4.3.4 | Personalstruktur mit reduzierten Personaleinsatzkosten | 137 |
| 4.3.5 | Zusammenfassung | 139 |
| 4.4 | Generierung alternativer Personalentwicklungspfade | 140 |
| 4.4.1 | Definition von Personalentwicklungspfaden | 140 |
| 4.4.2 | Entscheidungsregeln für den Abbruch eines Personalentwicklungspfades | 143 |
| 4.4.3 | Lexikographische Verknüpfung von Entscheidungsregeln | 145 |
| 5. | Bewertung alternativer Personalentwicklungspfade unter Berücksichtigung der Zeitpräferenz | 147 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 5.1 | Verfahren aus der Investitionsrechnung | 148 |
| 5.1.1 | Zahlungsreihe einer Investition | 148 |
| 5.1.2 | Dynamische Verfahren der Investitionsrechnung | 149 |
| 5.2 | Anpassung der Kapitalwertmethode an die mehrphasige Personalentwicklungsplanung | 151 |
| 5.3 | Mehrphasiger Personalentwicklungsplan | 154 |
| 5.3.1 | Zielgruppe | 154 |
| 5.3.2 | Inhalt der Personalentwicklungsmaßnahmen | 155 |
| 5.3.3 | Personalentwicklungskosten | 156 |
| 5.3.4 | Festlegung der Zeitfenster für Personalentwick- lungsmaßnahmen im Technologiekalender | 156 |
| 6. | Einsatz des entwickelten Verfahrens in Anwendungsbeispielen | 158 |
| 6.1 | Prognose der Personalentwicklung für ein metallver- arbeitendes Unternehmen | 158 |
| 6.1.1 | Ausgangssituation des Fertigungssystems | 158 |
| 6.1.2 | Szenarien für die Entwicklung der Fertigungs- mengen | 161 |
| 6.1.3 | Modellierung der zukünftigen Entwicklung der Fertigungsmengen | 162 |
| 6.1.4 | Ergebnisse der simulationsunterstützten Vor- gehensweise | 164 |
| 6.1.4.1 | Bewertung der generierten Personal- strukturen | 164 |
| 6.1.4.2 | Generierung von Personalentwicklungspfaden | 167 |
| 6.1.4.3 | Bewertung der Personalentwicklungspfade | 170 |
| 6.1.4.4 | Bewertung nach personalbezogenen Zielsetzungen | 172 |
| 6.2 | Personalentwicklung für neue Fertigungstechnologien bei einem Automobilzulieferer | 174 |
| 6.2.1 | Problemstellung und Zielsetzung | 174 |
| 6.2.2 | Modellierung der Erzeugnis- und Fertigungs- technologieentwicklung | 175 |
| 6.2.2.1 | Ausgangssituation | 175 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 6.2.2.2 | Erzeugnis- und Fertigungstechnologieentwicklung | 176 |
| 6.2.3 | Vorgehensweise bei der simulationsunterstützten Personalentwicklungsplanung | 180 |
| 6.2.3.1 | Vorgehensweise bei der Generierung alternativer Planungslösungen | 180 |
| 6.2.3.2 | Ergebnisse der mehrphasigen Entwicklung von Personalstrukturen | 182 |
| 6.2.3.3 | Methode des abgewerteten Gesamtzielereicherungsgrades | 185 |
| 6.2.3.4 | Berücksichtigung personalbezogener Zielsetzungen | 186 |
| 6.2.4 | Ableitung eines mehrphasigen Personalentwicklungsplans | 190 |
| 7. | Zusammenfassung und Ausblick | 191 |
| 7.1 | Ergebnisse der vorliegenden Arbeit | 191 |
| 7.2 | Nutzung der Anwendung des neuen Verfahrens | 194 |
| 7.3 | Weiterführende Forschungsaspekte | 195 |
| 8. | Literaturverzeichnis | 197 |
| 8.1 | Quellen | 197 |
| 8.2 | Eingesetzte Software | 215 |
| 8.3 | Verwendete Abkürzungen | 216 |
| 9. | Anhang | 217 |
| 9.1 | Bewertung des Personalentwicklungspotenzials | 217 |
| 9.2 | Identifikation qualifikatorischer Engpässe für Funktionselemente | 218 |
| 9.2.1 | Identifikation personalbedingter Engpässe | 218 |
| 9.2.2 | Identifikation von Funktionselementen für eine Qualifikationsvereinfachung | 219 |
| 9.3 | Modifikationsgrad und Suchrichtung | 220 |
| 9.4 | Ablauf des angepassten Sintflut-Algorithmus | 222 |
| 9.5 | Algorithmen zur zielgerichteten Anpassung der Anzahl Personen einer Personalstruktur | 224 |

| | | |
|-------|---|-----|
| 9.5.1 | Erweiterung der Personenzahl | 224 |
| 9.5.2 | Reduzierung der Personenzahl | 225 |
| 9.6 | Daten zur Simulation des metallverarbeitenden Unternehmens | 227 |
| 9.6.1 | Auftragsprogramm in Abhängigkeit von der Erzeugnisklasse | 227 |
| 9.6.2 | Veränderung der Zeitanteile der Erzeugnisklassen | 228 |
| 9.6.3 | Simulationsergebnisse | 229 |
| 9.7 | Daten zur Simulation des Automobilzulieferers | 232 |
| 9.7.1 | Durchlaufpläne der Varianten in Abhängigkeit von der Fertigungstechnologie | 232 |
| 9.7.2 | Quantitative Erzeugnisentwicklung | 233 |
| 9.7.3 | Prognostizierte Entwicklung des Instandhaltungs- und Rüstaufwands | 234 |
| 9.7.4 | Erzeugung einer Personalstruktur mit hohem Zielerreichungsgrad Abarbeitungsgrad | 235 |
| 9.7.4 | Simulationsergebnisse | 236 |
| 10. | Verzeichnis der Formelzeichen | 241 |

1. Defizite der Personalentwicklungsplanung

1.1 Anforderungen an die Personalentwicklung im Fertigungsbereich

Im Zuge der Globalisierung der Märkte führt der verschärfte internationale Wettbewerb dazu, dass Unternehmen auf Veränderungen des Absatzmarktes möglichst schnell und flexibel reagieren müssen. Diese Veränderungen sind einerseits von immer kürzeren Produktlebenszyklen geprägt. Andererseits führen die steigenden Ansprüche der Kunden an die Erzeugnisse zu einer immer größer werdenden Erzeugnisvielfalt. Um auf diese sich permanent ändernden Marktanforderungen schnell und flexibel reagieren zu können, müssen aktuelle Erzeugnis- und Fertigungstechnologieentwicklungen möglichst schnell in den Unternehmen umgesetzt werden.

Von diesen Veränderungen ist vor allem der Fertigungsbereich von Produktionsunternehmen betroffen. Gerade hier müssen die personellen und maschinellen Ressourcen permanent an die Erfordernisse der Erzeugnis- und Fertigungstechnologieentwicklung angepasst werden. Nachfolgend werden diejenigen Einflussfaktoren aufgeführt, die für die Personalentwicklung im Rahmen der vorliegenden Arbeit berücksichtigt werden sollen.

1.1.1 Einfluss der Erzeugnisentwicklung auf die Personalentwicklung

Aufgrund der angeführten Veränderungen der Absatzmärkte steht für zahlreiche Produktionsunternehmen nicht mehr ein mengenmäßiges Wachstum im Vordergrund; in vielen Fällen ist die Situation am Markt

von einer stagnierenden oder sogar rückläufigen Nachfrage geprägt. Relevant ist aber auch eine Ausweitung der Erzeugnispalette und damit eine Anpassung des Erzeugnisprogramms an individuelle Kundenwünsche (WILDEMANN 1998, S. 1 f.). Um am Absatzmarkt wettbewerbsfähig zu bleiben, wird von den Produktionsunternehmen eine permanente Weiterentwicklung des vorhandenen Erzeugnisprogramms mit einer Erhöhung der Variantenzahl gefordert. Verstärkt wird dieser Trend des permanenten Erzeugniswandels durch eine zunehmende Verkürzung der Lebensdauer von Erzeugnissen und einen wachsenden Anteil der Entwicklungszeit an ihrer Lebenszeit. Für Unternehmen, die einen zu späten Erzeugniseinführungszeitpunkt realisieren, verbleibt daher immer weniger Zeit, ihre Erzeugnisse mit Gewinn abzusetzen (ZÜLCH, GROBEL 1993, S. 387 ff.; BULLINGER 1997, S. 1). So wird bei zu später Erzeugniseinführung der Konkurrenzdruck weiter verschärft, da Späteinsteiger mit hohen Stückkosten bei gleichzeitigem Preisverfall rechnen müssen (WILDEMANN 1993a, S. 9 f.).

Neben der Anpassung des Erzeugnisprogramms wird auch der Einfluss neuer Erzeugnistechnologien auf die Personalentwicklung betrachtet. Unter dem Begriff Erzeugnistechnologie werden alle Technologien aufgefasst, die unmittelbar im Erzeugnis zum Einsatz kommen. Dazu zählen neben dem Einsatz neuer Werkstoffe auch Neuerungen im Erzeugnisaufbau und in der Funktion des Erzeugnisses.

In der vorliegenden Arbeit wird der Einfluss der Erzeugnisentwicklung auf die Personalentwicklung nicht isoliert von den weiteren Einflussfaktoren betrachtet, wie dies in zahlreichen Ansätzen der Fall ist (zur überblicksweisen Darstellung derartiger Ansätze ohne Integration der Personalentwicklung in Erzeugnis- bzw. Technologieentwicklung vgl. ADAMS 1996, S. 24). Die Entwicklung neuer Technologien erfordert eine integrierte Betrachtungsweise von Erzeugnis- und Technologieentwicklung, da die beiden Bereiche wechselseitig voneinander abhängig sind (WILDEMANN 1993b, S. 565; ADAMS 1996, S. 26 ff.). So ermöglichen bestimmte Fertigungstechnologien beispielsweise eine Erhöhung der Fertigungsmenge. Neue Erzeugnisgenerationen ermöglichen z.B. den Einsatz neuer Produktionstechno-

logien, wie etwa den Einsatz neuer Fertigungstechnologien für neue Werkstoffe oder neue Methoden der Auftragsplanung und -steuerung.

Die permanente Erzeugnisentwicklung hat eine Vielzahl von Auswirkungen auf die zukünftige Personalentwicklung: Einerseits sind bei der Entwicklung der Fertigungsmengen Fragestellungen zur quantitativen Personalentwicklung zu klären. Andererseits ergeben sich für die vorhandene Personalstruktur, also die Stammebelegschaft, mit der Einführung weiterer Erzeugnisvarianten oder der Weiterentwicklung vorhandener Erzeugnisse bis hin zu neuen Erzeugnistechnologien neue Arbeitsanforderungen, die ohne eine gezielte qualitative Personalentwicklung nicht zu bewerkstelligen sind (zur Darstellung der Auswirkungen der Erzeugnisentwicklung auf die Personalentwicklung vgl. ausführlicher Kap. 3.2.1.3).

1.1.2 Einfluss der Fertigungstechnologie- und Organisationsentwicklung auf die Personalentwicklung

Die angesprochenen Veränderungen am Markt führten in neuerer Zeit von der Erzeugnisstandardisierung und Massenproduktion zu einer größeren Erzeugnisvielfalt und damit zu einer Fertigung in kleinen Losgrößen. Durch diese Entwicklung nahm die Bedeutung von Erfahrungskurven immer mehr ab (ZÜLCH, GROBEL 1993, S. 387 ff.). Derartige Kurven besagen, dass Rationalisierungseffekte durch eine Erhöhung der Fertigungsmenge zu erzielen sind. Produktionsunternehmen, die sich nach wie vor an den Erkenntnissen der Erfahrungskurve orientieren, setzen auf Produktstandardisierung und Massenproduktion, womit die Flexibilität des Fertigungssystems abnimmt (WILDEMANN 1998, S. 5).

Die Technologieentwicklung der letzten Jahre ist jedoch durch eine gleichzeitige Produktivitäts- und Flexibilitätssteigerung geprägt. Ermöglicht wurde dies u.a. durch den Einsatz rechnerunterstützter Verfahren, wie z.B. die Einführung verschiedener CAX-Systeme (WILDEMANN 1998, S. 2).

Ein weiterer Umbruch wurde in zahlreichen Fertigungsprozessen durch eine Erhöhung des Automatisierungsgrades erzielt. Damit wird

einerseits die Entkoppelung des Menschen vom Fertigungsprozess möglich, was für viele Mitarbeiter mit einer Anreicherung ihrer Arbeitsinhalte verbunden ist (WILDEMAN 1998, S. 4). Andererseits kann mit zunehmender Automatisierung jedoch eine Vereinfachung der Arbeitsinhalte verbunden sein (vgl. hierzu die Polarisierungshypothese von KERN, SCHUHMANN 1970, S. 1 ff.).

Die technologischen Veränderungen haben die Unternehmen vielfach dazu veranlasst, die Fertigung in dezentrale Organisationseinheiten zu gliedern. Während die Massenproduktion einen hohen Grad an Arbeitsteilung bedeutet, um Spezialisierungseffekte zu nutzen, erfordern dezentrale Fertigungsstrukturen vermehrt die Integration indirekter Arbeitsaufgaben in diese Organisationseinheiten. Dazu zählen Vorbereitungsfunktionen, wie z.B. die Fertigungsplanung und der Werkzeug- und Vorrichtungsbau, aber auch Organisationsfunktionen, wie die Fertigungssteuerung und -kontrolle. Diese (Re-)Integration so genannter Umfeldaufgaben beinhaltet die Übertragung von mehr Verantwortung in den Fertigungsbereich und bedeutet damit für den Fertigungsmitarbeiter eine Aufgabenbereicherung (REFA 1990, S. 33). Generell kann die Einführung neuer Fertigungstechnologien und neuer Organisationsformen nur erfolgreich sein, wenn die Mitarbeiter auf die damit verbundenen neuen Arbeitsanforderungen rechtzeitig vorbereitet werden (PENNATHUR, MITAL 1999, S. 1297).

Grundsätzlich könnte im Rahmen der vorliegenden Arbeit der Einfluss der intrinsischen Organisationsentwicklung auf die Personalentwicklung deutlicher dargestellt werden. Da jedoch hier diejenigen Einflussfaktoren, die von außen auf ein Unternehmen einwirken und eine entsprechende Anpassung von Personalstrukturen erfordern, im Vordergrund stehen, wird die intrinsische Entwicklung von Organisationseinheiten nicht näher betrachtet; vielmehr konzentriert sich die vorliegende Arbeit auf den Einfluss der Erzeugnis- und Fertigungstechnologieentwicklung auf die Personalentwicklung.

1.1.3 Berücksichtigung personalbezogener Aspekte bei der Personalentwicklung

Die derzeit geführte Diskussion ist von der Erkenntnis geprägt, dass zukünftige Wettbewerbsvorteile nur durch den Einsatz qualifizierter und motivierter Mitarbeiter zu erreichen sind. Diese werden in letzter Konsequenz als entscheidendes Potenzial für den Erfolg bzw. Misserfolg eines Produktionsunternehmens betrachtet (z.B. SCHOLZ 1994, S. 1). So beinhaltet die Anpassung des Personals an die Erzeugnis- und Fertigungstechnologieentwicklung auch die Förderung und Weiterentwicklung der Potenziale und Qualifikationen der Fertigungsmitarbeiter und die Berücksichtigung ihrer persönlichen Interessen bei der beruflichen Weiterbildung.

1.1.4 Defizite einer reaktiven Personalentwicklung

Vielfach erfolgt die Personalentwicklung in der betrieblichen Praxis rein reaktiv. So werden Qualifikationsdefizite oftmals erst offenkundig, wenn die Wandlungsprozesse in der Erzeugnis- bzw. Technologieentwicklung des Unternehmens bereits weitgehend abgeschlossen sind. Hierbei werden die Maßnahmen der Personalentwicklung meist ad hoc und mit dem Wandel in der Erzeugnis- bzw. Technologieentwicklung im Unternehmen unsynchronisiert umgesetzt, beispielsweise wenn festgestellt wird, dass die vorhandene Qualifikationsstruktur für die neu geschaffenen Technologien nicht mehr ausreichend ist (KNÖLL 1997, S. 97).

Oftmals erfolgt dann die Personalentwicklung nach dem Standpunkt, die Kosten für Personalinvestitionen so gering wie möglich zu halten. Dabei werden Qualifikationsmaßnahmen nicht im Hinblick auf mittelfristig absehbare personelle Engpässe durchgeführt, sondern nur hinsichtlich kurzfristiger Qualifikationsdefizite, etwa durch improvisierte Einzelmaßnahmen. Dabei bleiben das Flexibilitätspotenzial der vorhandenen Personalstruktur, aber auch personalbezogene Zielsetzungen meist unberücksichtigt. Gerade die unzureichende Einbindung des Personals wird in zahlreichen Studien als Hauptursache für

Misserfolge bei technischen oder organisatorischen Veränderungsprozessen genannt (so z.B. CHUNG 1996, S. 283).

1.2 Problemstellung und Zielsetzung der Arbeit

Die Personalentwicklungsplanung stellt ein komplexes Planungsproblem dar: Die Planung der Anzahl und Qualifikation zukünftig einzusetzender Mitarbeiter ist einerseits geprägt durch die sich teilweise widersprechenden produktionslogistischen, monetären und personalbezogenen Zielsetzungen. Andererseits existiert eine Vielzahl von Möglichkeiten, über mehrere Phasen von Erzeugnis- und Fertigungstechnologieentwicklungen hinweg mehrphasige Personalentwicklungsalternativen abzuleiten.

Die vorliegende Arbeit will eine Hilfestellung geben, die genannten Defizite einer reaktiven Personalentwicklungsplanung für Fertigungssysteme auszuräumen. Das Ziel dabei ist, einer verspäteten Bereitstellung der erforderlichen Qualifikationen entgegenzuwirken und Personalentwicklungsmaßnahmen für Fertigungsmitarbeiter im Sinne einer mit dem Erzeugnis- und Fertigungstechnologiewandel synchronisierten Personalentwicklung zu initiieren. Im Gegensatz zum einmaligen Umplanungsfall von Personalstrukturen wird dabei der Anspruch erhoben, eine Basis zu schaffen, die eine Planung der Personalentwicklung über mehrere Entwicklungsphasen eines Fertigungssystems hinweg erlaubt. Dies erfordert als Grundlage die Definition von Zeitpunkten, an denen konkrete Personalentwicklungsmaßnahmen abgeschlossen sein müssen, damit die erforderlichen Qualifikationen rechtzeitig vorliegen. Unter Einbeziehung mehrerer Entwicklungszeitpunkte ist das Entwicklungspotenzial von Personalstrukturen über den gesamten Planungshorizont hinweg zu analysieren. Hierbei besteht eine weitere Aufgabe der vorliegenden Arbeit darin, eine Methodik zu entwickeln, die aus der Vielzahl von alternativen Planungslösungen die über alle Entwicklungsphasen hinweg beste Planungslösung für die Personalentwicklung generiert. Dies

erfordert eine geeignete Entscheidungshilfe für die Auswahl der besten Lösung aus der Vielzahl alternativer Planungspfade.

Neben einer verbesserten Synchronisation der Personalentwicklungsplanung mit der Erzeugnis- und Fertigungstechnologieentwicklung werden auch personalbezogene Zielsetzungen im Sinne einer verbesserten Arbeitsgestaltung verfolgt. Die menschengerechte Gestaltung der Arbeit, deren Umsetzung durch das Arbeitsschutzgesetz (§4 ArbSchG 1996) inzwischen gesetzlich gefordert wird, steht auch im Einklang mit dem Interesse der Unternehmen an qualifizierten, motivierten und kreativen Arbeitnehmern. Zu den personalbezogenen Aspekten zählen unter anderen die Vollständigkeit der einem Mitarbeiter zugeordneten Arbeitsaufgaben sowie die Berücksichtigung seines individuellen Entwicklungspotenzials. Die Personalentwicklung verbindet somit die betrieblichen Zielsetzungen einer ökonomischen Nutzung der personellen Ressourcen mit personalbezogenen Zielsetzungen.

1.3 Methodik und Aufbau der Arbeit

Die Vorbedingungen für das hier zugrunde gelegte Planungsszenario sind Veränderungen im Erzeugnisprogramm sowie fertigungstechnologische Veränderungen im Produktionsunternehmen. Aus technikkorientierter Sicht gibt es verschiedene Ansätze zur Abstimmung von Erzeugnis- und Fertigungstechnologieentwicklungen. Diese Ansätze sind in der Literatur als Technologiekalender-Konzepte bekannt (WESTKÄMPER 1986, S. 143 ff.; WILDEMAN 1993b, S. 564 ff.; EVERSHEIM u.a. 1996, S. 105 ff.). Sie verfolgen das Ziel, den technologischen Fortschritt systematisch zu erfassen und für das jeweilige Unternehmen schneller nutzbar zu machen. Dazu stellt der Technologiekalender die Eigenschaften der zur Fertigung vorgesehenen Erzeugnisse den Fähigkeiten der potenziell einsetzbaren Technologien graphisch gegenüber. Hieraus lassen sich Gestaltungsalternativen für Investitionsprogramme erarbeiten.

Um auch die personellen Ressourcen in diesen Planungsprozess einzubeziehen, wird in der vorliegenden Arbeit der Grundgedanke des Technologiekalender-Konzeptes zur Synchronisation von Erzeugnis- und Fertigungstechnologieentwicklung aufgegriffen und an die Erfordernisse der Weiterentwicklung einer bestehenden Personalstruktur über mehrere Entwicklungsphasen hinweg angepasst. Dabei wird das Flexibilitätspotenzial der vorhandenen Personalstruktur systematisch erfasst und bei der Personalentwicklungsplanung explizit berücksichtigt. Mit Hilfe dieses Konzeptes kann der zukünftig erforderliche Qualifizierungsbedarf, der sich aus der Erzeugnis- und Fertigungstechnologieentwicklung ergibt, quantifiziert und daraus konkrete Personalentwicklungsmaßnahmen abgeleitet werden.

Um der dargestellten Komplexität des Problems bei der Planung von Personalstrukturen gerecht zu werden, wurden bereits früher personalorientierte Simulationsverfahren entwickelt und als Entscheidungsunterstützung für die Neu- und Umplanung von Personalstrukturen erfolgreich eingesetzt (vgl. z.B. HEITZ 1994; LUNZE 1997; HEEL 1999). Ein systematisches Verfahren, mit dem sich zukünftige Qualifikationsengpässe bei einer vorhandenen Personalstruktur unter Berücksichtigung ihres Flexibilitätspotenzials über mehrere Entwicklungsphasen zielgerichtet aufdecken lassen, ist derzeit nicht verfügbar. Daraus leitet sich für die vorliegende Arbeit die Notwendigkeit ab, die personalorientierte Simulation als Hilfsmittel für die Personalentwicklungsplanung zu erweitern und an die sich aus der Problemstellung ergebenden Erfordernisse anzupassen. Um dieses Ziel zu erreichen, ist die Arbeit wie folgt aufgebaut (vgl. Abb. 1-1):

Kapitel 2 beschreibt den Stand der rechnerunterstützten Personalentwicklungsplanung. Es geht insbesondere auf den Entwicklungsstand von Simulationsverfahren ein, die für die Modellierung und Simulation von Personal eingesetzt werden. Weiterhin erfolgt in diesem Kapitel eine Beschreibung von Technologiekalender-Konzepten.

Im Hinblick auf die Ausgangsfragestellung, Erzeugnis- und Fertigungstechnologieentwicklung möglichst effektiv mit der Personalentwicklung abzustimmen, werden für die zu entwickelnde Methodik der mehrphasigen Personalentwicklungsplanung die bekannten Technologiekalender-Konzepte auf ihre Erweiterbarkeit hin überprüft. In

Kapitel 3 wird eines dieser Konzepte aufgegriffen und entsprechend erweitert. Damit wird dem grundlegenden Handlungsbedarf bei der Einbindung personeller Ressourcen im Planungsprozess Rechnung getragen (BURGSTAHLER 1997, S. 110). Ergebnis dieses erweiterten Technologiekalender-Konzeptes ist die Ermittlung eines mehrphasigen Qualifizierungsbedarfs. Dieser Qualifizierungsbedarf auf Basis einer im betrachteten Fertigungssystem vorhandenen Personalstruktur wird mit Hilfe der personalorientierten Simulation ermittelt. Eine simulationsunterstützte Vorgehensweise ermöglicht u.a. die Darstellung des komplexen Zusammenwirkens von Fertigungsprogramm und Betriebsmittelstruktur sowie der Qualifikationsstruktur der Fertigungsmitarbeiter.

In Kapitel 4 wird ein Verfahren vorgestellt, das erstmals eine simulationsunterstützte mehrphasige Personalentwicklungsplanung ermöglicht. Dieses Verfahren basiert auf dem von HEITZ (1994, S. 127 ff.) entwickelten simulationsunterstützten Zwei-Phasen-Konzept mit heuristischer Lösungsfindung (zur Begründung der Verfahrensauswahl vgl. Kap. 3.1). Für die mehrphasige Personalentwicklungsplanung gilt im Gegensatz zur einmaligen Umplanung, dass die für eine Planungsphase ermittelte heuristisch optimale Lösung nicht notwendigerweise auch für den gesamten mehrphasigen Personalentwicklungsplan vorteilhaft sein muss. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, mehrere alternative Planungslösungen pro Planungsphase zu generieren und für die folgenden Erzeugnis- und Fertigungstechnologieentwicklungen weiter zu betrachten. Die Weiterentwicklung einer Planungsalternative über mehrere Planungsphasen wird nachfolgend als Personalentwicklungspfad bezeichnet.

Kapitel 5 stellt eine Methode zur Bewertung von alternativen Personalentwicklungspfaden vor, und zwar unter Berücksichtigung der zeitlichen Nähe der Einzelmaßnahmen zu Beginn der Planung. Eine derartige Bewertung berücksichtigt, dass zeitlich entfernt liegende Personalentwicklungsmaßnahmen nicht notwendigerweise mit derselben Gewichtung in die Bewertung einfließen werden wie Maßnahmen, die unmittelbar im Anschluss an die Planung umgesetzt werden.

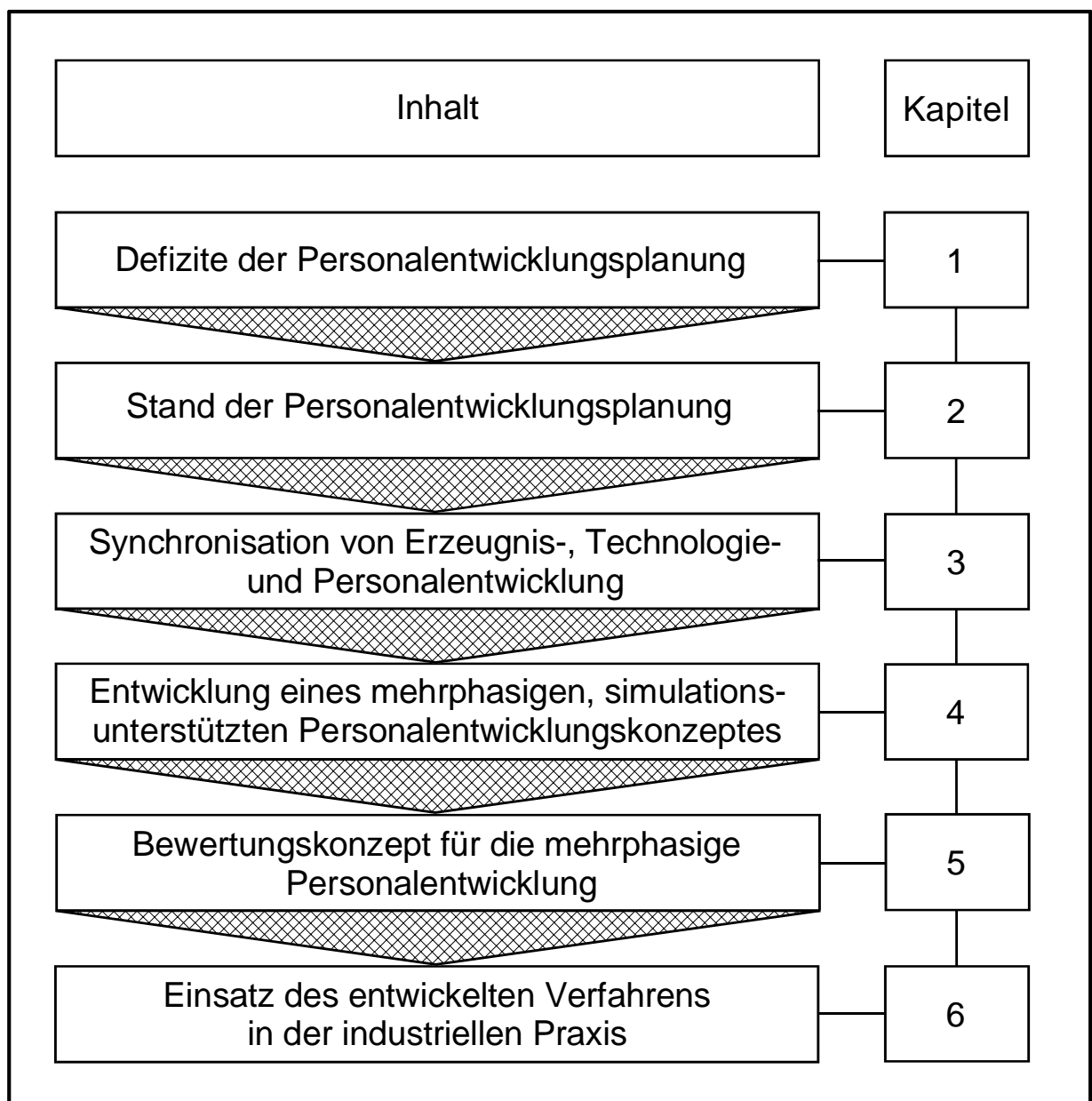


Abb. 1-1: Aufbau der Arbeit

Um die Praktikabilität des entwickelten Verfahrens unter Beweis zu stellen, werden in Kapitel 6 zwei Anwendungsbeispiele aus der Industrie vorgestellt. Es wird dabei gezeigt, wie mit Hilfe des simulationsunterstützten Verfahrens konkrete Personalentwicklungspläne generiert und bewertet werden können.

2. Stand der Personalentwicklungsplanung

2.1 Begriffsabgrenzungen

In diesem Kapitel werden zunächst einige zentrale Begriffe eingeführt, die im Rahmen der vorliegenden Arbeit verwendet werden. Weitere Definitionen zu zentralen Begriffen der Personal- bzw. Qualifikationsstruktur im Fertigungssystem, die bereits in Kapitel 2 verbal verwendet werden, befinden sich zur besseren Übersicht bei den Kriterien zur Bewertung von Fertigungssystemen in Kapitel 3.3.

2.1.1 Formale Begriffsdefinitionen zur Personalentwicklungsplanung

2.1.1.1 Zeitpunkte und Entwicklungsschritte

Für die Personalentwicklung werden im Folgenden mehrere sukzessive Planungsphasen eines Fertigungssystems betrachtet. Jede Planungsphase wird dabei durch terminierte Zeitpunkte markiert. Ein Zeitpunkt stellt beispielsweise der Starttermin einer geplanten Fertigung oder der Termin für die Einführung einer neuen Fertigungstechnologie dar. Spätestens zu einem solchen Zeitpunkt müssen die erforderlichen Maßnahmen zur Personalentwicklung abgeschlossen sein. Die aufeinander folgenden Zeitpunkte werden in der Regel bis zu einem bestimmten Planungshorizont betrachtet. Nach REFA (1991a, S. 25) ist der Planungshorizont der Zeitabschnitt, für den die Planung Gültigkeit haben soll. Dafür wird hier die Indexmenge für Zeitpunkte wie folgt definiert:

$$T = \{t \in \mathbb{R}_+ / t \leq t^*\} \quad \begin{array}{l} \text{Indexmenge und Index für} \\ \text{Zeitpunkte in der Pla-} \\ \text{nungsphase} \end{array} \quad (2.1)$$

mit: t^* Endezeitpunkt des Planungshorizontes
 $t_0, t=0$ Startzeitpunkt des Planungshorizontes

Zur übersichtlichen Darstellung werden die Zeitpunkte t nach folgender Rangordnung in Entwicklungsschritte überführt:

$$S = \{s \in \mathbb{N}_0 / s = \text{rng}(t), t \in T\} \quad \begin{array}{l} \text{Indexmenge und Index für} \\ \text{Entwicklungsschritte des} \\ \text{Fertigungssystems} \end{array} \quad (2.2)$$

mit: $s_0, s=0$ Ausgangsfertigungssystem
 $s^*=\text{rng}(t^*)$ letzter Entwicklungsschritt des Planungshorizontes

Aufgrund der Eindeutigkeit der Zuordnung eines Entwicklungsschrittes s zu einem Zeitpunkt t kann in Anlehnung an Formel 2.1 die Indexmenge für Zeitpunkte auch wie folgt beschrieben werden:

$$T = \{t_s \in T / t \text{ ist } s \text{ zugeordnet}\} \quad \begin{array}{l} \text{Indexmenge und Index für} \\ \text{Entwicklungsschritte des} \\ \text{Fertigungssystems zum} \\ \text{Zeitpunkt } t \end{array} \quad (2.3)$$

Den Zusammenhang zwischen Zeitpunkt t und Entwicklungsschritt s eines Fertigungssystems verdeutlicht Abbildung 2-1.

2.1.1.2 Planungsphasen und Personalentwicklungsfenster

Da sich mit jedem Zeitpunkt t das Fertigungsprogramm, die eingesetzten Fertigungstechnologien oder auch die Personalstruktur ändern können und damit die Randbedingungen für eine produktionslogistische Bewertung des betrachteten Fertigungssystems, ist im Folgenden die Beschränkung auf einzelne Planungsphasen notwendig. Als Planungsphase wird ein Zeitraum innerhalb von $[0; s^*]$ bezeich-

net, wobei in aller Regel $[s; s+1]$ betrachtet wird. Für die Bewertung der Leistungsfähigkeit in einer solchen Planungsphase muss ggf. die Einschwingphase (HEITZ 1994, S. 62) unberücksichtigt bleiben.

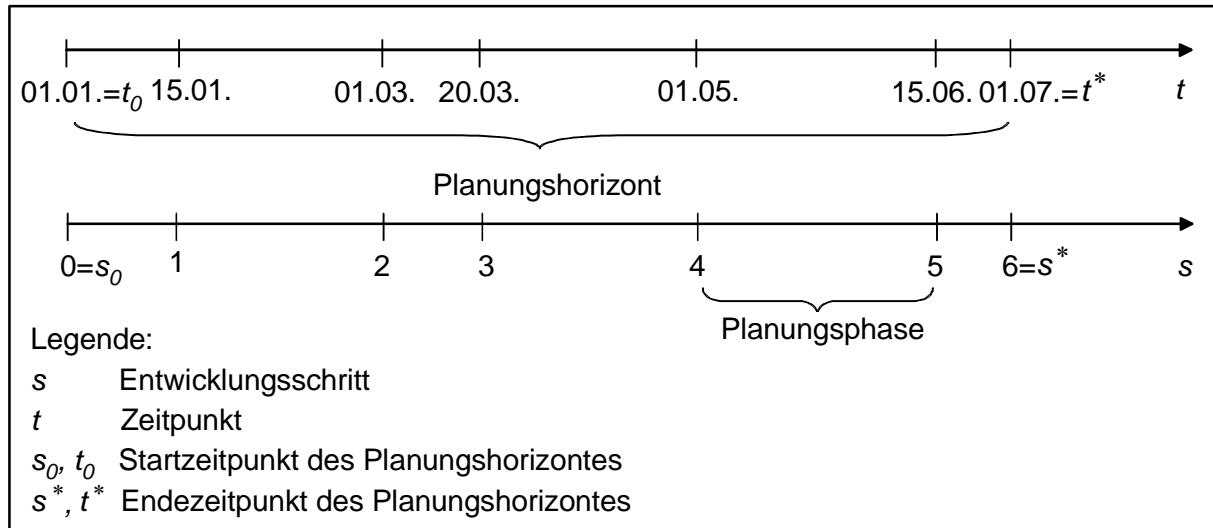


Abb. 2-1: Zusammenhang zwischen Zeitpunkt t und Entwicklungsschritt s eines Fertigungssystems

Jede Planungsphase wird durch die Entwicklungsschritte s und $s+1$ begrenzt. Für die produktionslogistische Bewertung des Fertigungssystems wird vereinfachend angenommen, dass alle Fertigungsaufträge, die für eine Phase eingeplant sind, auch zu Beginn dieser Phase eingesteuert werden.

Neben den Planungsphasen sind Personalentwicklungsfenster zu definieren. Innerhalb der Personalentwicklungsfenster müssen die Personalentwicklungsmaßnahmen abgeschlossen sein, damit die erforderlichen Qualifikationen vorliegen, die für die zum Entwicklungsschritt s geplanten Veränderungen des Fertigungssystems erforderlich sind. Es wird angenommen, dass Personalentwicklungsfenster durch Entwicklungsschritte s begrenzt werden. Ein Personalentwicklungsfenster entspricht in der Regel der Planungsphase $[s-1; s]$; ein Personalentwicklungsfenster kann aber auch mehrere Planungsphasen umfassen. Damit wird verdeutlicht, dass Personalentwicklungsmaßnahmen, die spätestens zum Entwicklungsschritt s abgeschlossen sein müssen, auch schon zu einem früheren Zeitpunkt als zum vorhergehenden Entwicklungsschritt $s-1$ beginnen können. Alternativ zum

Begriff Personalentwicklungsfenster wird in den folgenden Definitionen auch die Bezeichnung Zeitfenster $[s-a;s]$ verwendet, wobei der Wertebereich von a durch folgendes Intervall begrenzt ist:

$$a \in \mathbb{N} / 1 \leq a \leq s \quad \text{Anzahl Entwicklungsschritte im Zeitfenster von Entwicklungsschritt } s \quad (2.4)$$

Den Zusammenhang zwischen Zeitpunkt t , Entwicklungsschritt s , Zeitfenster $[s-a;s]$ und Planungsphase $[s;s+1]$ verdeutlicht Abbildung 2-2.

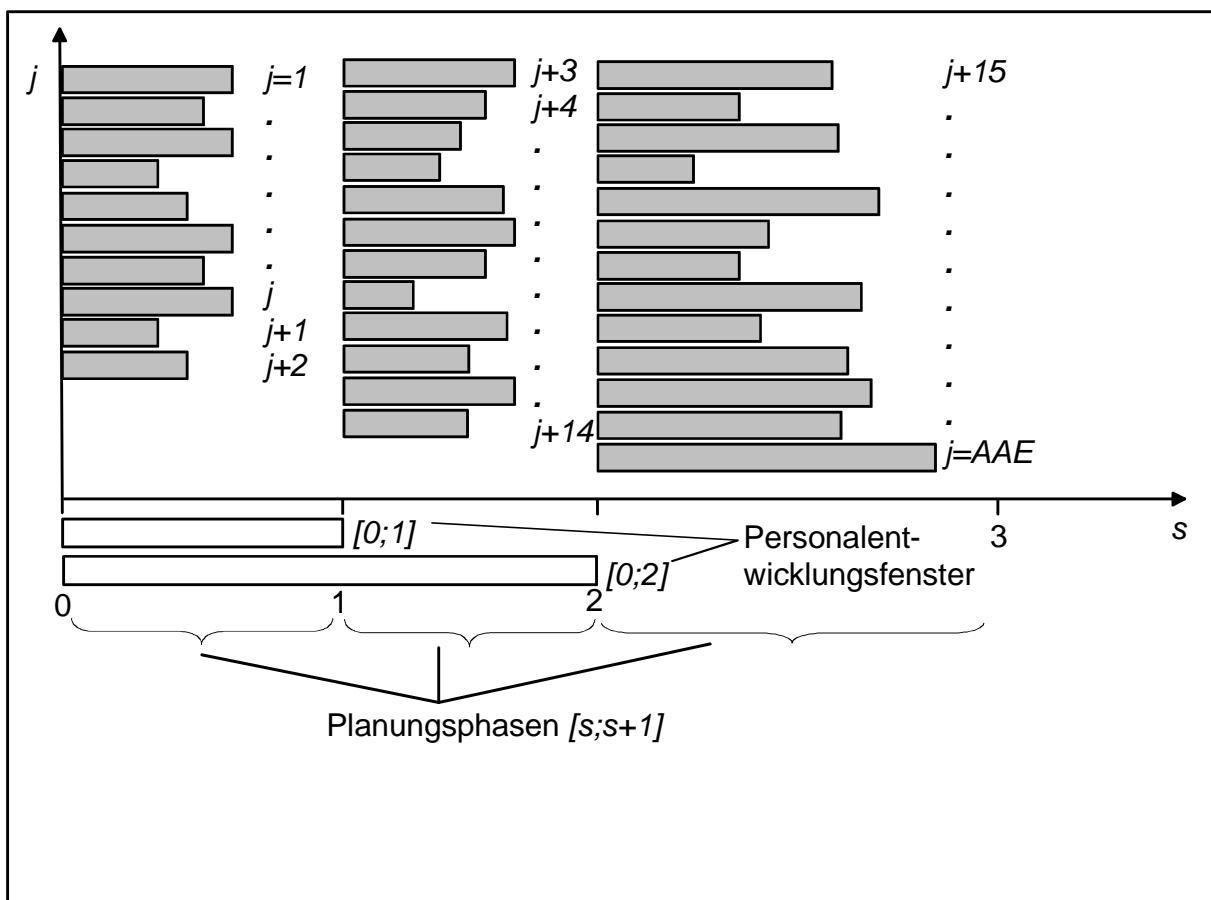


Abb. 2-2: Planungsphasen $[s;s+1]$ und Personalentwicklungsfenster $[s-a;s]$ in Abhängigkeit vom Entwicklungsschritt s

Neben einer Veränderung des Fertigungsprogramms werden Planungsphasen auch durch geplante technologische Veränderungen im Fertigungssystem begrenzt, womit sich ebenfalls die Leistungsfähigkeit des Fertigungssystems ändert.

2.1.2 Personalentwicklungsplanung im Kontext der Personalplanung

Im Folgenden wird die Personalplanung als ein System betrieblicher Entscheidungen verstanden, mit dem zukünftige betriebliche Maßnahmen im Personalbereich systematisch bestimmt werden. Der Begriff der Personalplanung wird in der Literatur unterschiedlich verwendet (REFA 1991, S. 238). Für die folgenden Ausführungen wird die Unterteilung der Personalplanung von NÜBGENS (1975, S. 87) zugrunde gelegt, der je nach den mit einer Personalplanung verbundenen Aufgabenbereichen folgende personelle Teilplanungen unterscheidet: Personalbedarfsermittlung, Personalbeschaffung, Personalentwicklung, Personaleinsatz, Personalerhaltung sowie Personalfreistellung. Diese Einteilung ist auch bei REFA (1991b, S. 237) zu finden.

In der Vielzahl der Veröffentlichungen zum Thema Personalentwicklung als ein Teilbereich der Personalplanung wird deutlich, dass sich die Definition des Begriffes meist auf die qualitative Anpassung der Qualifikationen einer vorhandenen Personalstruktur beschränkt. Die Veränderung der Anzahl der Mitarbeiter bleibt vielfach davon ausgegrenzt (KOSSBIEL 1984, S. 5; DRUMM 1995, S. 323; MAG 1998, S. 145 f.).

Da im Rahmen der vorliegenden Arbeit mit dem Begriff Personalentwicklung alle Teilaspekte personeller Planungen betrachtet werden, die mit der Entwicklung und Anpassung einer Personalstruktur verbunden sind, sind neben der qualitativen Personalentwicklung einer vorhandenen Personalstruktur auch die Personalbeschaffung zur Beseitigung einer personellen Unterdeckung sowie im Falle einer personellen Überdeckung die Personalfreistellung von Interesse.

Da im Falle einer personellen Überdeckung eine Freistellung von Personal seitens des Arbeitgebers durch Maßnahmen wie Kündigungsschutzgesetz, Tarifverträge usw. eingeschränkt wird, ist die direkte Personalfreistellung als letzte aller Möglichkeiten anzusehen. Aus diesem Grunde ist eine indirekte Form der Personalfreistellung vorzuziehen. Möglichkeiten sind beispielsweise die betriebsinterne Ver-

setzung von Mitarbeitern oder die Einschränkung der Auswärtsvergabe von Arbeiten.

Die qualitative Personalentwicklung wird im Folgenden als Veränderung personeller Qualifikationsmerkmale verstanden, die für die Ausübung von Arbeitsvorgängen relevant sind, außerdem die Maßnahmen, die diese Veränderung bewirken sollen, und die Maßnahmen, mit denen auf die Veränderungen reagiert wird (CONRADI 1983, S. 2 ff.). Neben der Qualifikationserweiterung muss in diesem Zusammenhang auch die Vereinfachung von Qualifikationen als Teilaspekt der Anpassung von Personalstrukturen an Veränderungsprozesse betrachtet werden (zu diesen Strategien der Personalentwicklung siehe auch Kap. 4.2).

Dabei sind zwei Zielsetzungen zu betrachten: Aus betrieblicher Sicht wird die Anpassung individueller Qualifikationen an die gegenwärtigen oder künftigen Anforderungen vorgenommen, um damit eine ökonomische Nutzung der personellen Ressourcen anzustreben. Aufgabe der Personalentwicklung ist es aber auch, die Interessen der Mitarbeiter so weit wie möglich zu berücksichtigen (REFA 1991b, S. 324). Dazu zählen die berufliche Weiterentwicklung und die Berücksichtigung des persönlichen Personalentwicklungspotenzials sowie die Zuordnung von Arbeitsvorgängen, die den persönlichen Präferenzen der Mitarbeiter entsprechen (CONRADI 1983, S. 8).

In der Literatur werden Personalentwicklungsmaßnahmen danach unterschieden, ob sie mit der Ausübung regulärer Arbeit am Arbeitsplatz gekoppelt sind (training on the job) oder ob sie außerhalb des Arbeitsplatzes erfolgen (training off the job) (MAG 1998, S. 151; CONRADI 1983, S. 65 ff.; SCHOLZ 1994, S. 255). Diese Unterscheidung erfolgt vielfach aus Kostengründen, da für externe Bildungsmaßnahmen höhere Personalentwicklungskosten zu erwarten sind (zur Berechnung der Personalentwicklungskosten vgl. Kap. 3.3.3.2). Auch im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird mit einer entsprechenden Modellierung von Personalentwicklungskosten für die zu qualifizierenden Funktionselemente nach diesen beiden Maßnahmegruppen unterschieden.

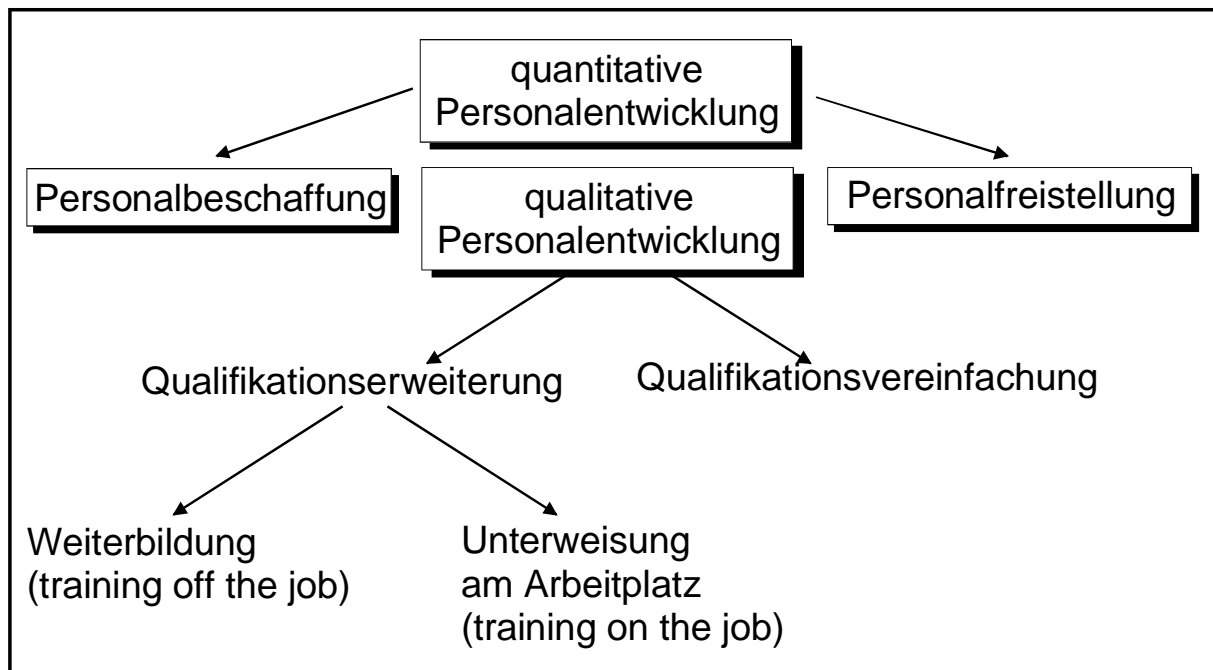


Abb. 2-3: Relevante Teilaspekte der Personalentwicklung

2.2 Aktuelle Tendenzen der Personalentwicklungsplanung

2.2.1 Humanorientierung in der Betriebswirtschaftslehre

Mit der Öffnung der Betriebswirtschaftslehre in Richtung der Verhaltenswissenschaft, insbesondere der Arbeitspsychologie, haben sich die Vorstellungen vom arbeitenden Menschen im Unternehmen grundlegend gewandelt. Seit Beginn der Hawthorne-Experimente im Jahre 1924 (ROETHLISBERGER, DICKSON 1939) musste die anfangs vorherrschende Grundannahme, der Mensch sei verantwortungsscheu und nur mit finanziellen Anreizen zu motivieren, durch neue Menschenbilder revidiert werden (ULICH 1998, S. 5). Das heutige Bild vom arbeitenden Menschen ist von der Grundannahme geprägt,

dass er vor allen Dingen nach Selbstverwirklichung und Autonomie strebt. Dieser Wandel hatte und hat für die Strukturierung von Produktionsunternehmen und die Arbeitsgestaltung weitreichende Auswirkungen. So mussten Formen der strikten Arbeitsteilung neuen Formen der Arbeitsorganisation, wie z.B. Aufgabenerweiterung und teilautonomen Arbeitsgruppen, weichen.

Daraus resultieren für die Personalplanung wichtige Impulse: Die Zerlegung der Arbeitsinhalte in einzelne, repetitive Arbeitsschritte führte in der Vergangenheit zu einer Qualifikationsvereinfachung, aber auch zur Unzufriedenheit der Mitarbeiter aufgrund einer als inhaltsarm empfundenen Arbeitsaufgabe. Einsatzspezialisten für arbeitsteilige Fertigungssysteme werden heutzutage immer seltener nachgefragt (REINBERG 2001, S. 8). Gefordert werden hingegen Mitarbeiter, die in der Lage sind, zusätzlich zu direkten Arbeitsaufgaben auch vor- und nachgelagerte zu übernehmen. So orientiert sich die Arbeitsorganisation an dem Ziel, die Mitarbeiter für die Durchführung einer vollständigen Arbeitsaufgabe einzusetzen. Bei den Mitarbeitern sollen daraus jene motivationalen Kräfte geweckt werden, die zur Vollendung bzw. Weiterführung der Arbeit anregen (ALIOTH 1980, S. 31). Dies beschränkt sich jedoch nicht nur auf die Übernahme mehrerer, strukturell gleichartiger Arbeitsaufgaben im Sinne eines Job Enlargement (ULICH 1998, S. 159), sondern insbesondere auch auf die Übernahme von mehr Verantwortung im Sinne einer Aufgabenbereicherung (Job Enrichment).

Nach HACKER (1987, S. 44) sollten Arbeitsaufgaben in sequenzieller und hierarchischer Hinsicht vollständig sein. Sequenzielle Vollständigkeit bedeutet, dass die Arbeitsaufgabe gleichermaßen Vorbereitungs-, Ausführungs-, Organisations- und Kontrollfunktionen umfasst. Eine Arbeitsaufgabe ist in hierarchischer Hinsicht vollständig, wenn Anforderungen auf verschiedenen, einander abwechselnden Ebenen der Tätigkeitsregulation gestellt werden. Ein Beispiel dafür ist der Wechsel von einfachen Bedienungstätigkeiten zu anspruchsvolleren Problemlösungsprozessen (HACKER 1987, S. 43). Da die Anpassung von Personalstrukturen an eine veränderte Fertigungssituation im Vordergrund steht, werden Aspekte der hierarchischen Vollständigkeit von Arbeitsaufgaben, insbesondere die

Modellierung verschiedener Ebenen der Tätigkeitsregulation nachfolgend nicht betrachtet. Die Arbeitsorganisation im Sinne von vollständigen bzw. ganzheitlichen Aufgaben erfordert eine Personalplanung, die die berufliche Qualifikation nicht nur erhält, sondern sie im Zuge technologischer und organisatorischer Veränderungen permanent weiterentwickelt.

2.2.2 Wandel der Qualifikationsanforderungen

Die Auswirkungen des Erzeugnis- und Fertigungstechnologiewandels sowie die Veränderungen der Arbeitsorganisation auf die Qualifikationsanforderungen an die Mitarbeiter werden in der Literatur uneinheitlich diskutiert. Zum Teil wird die Diskussion von der Hypothese einer Polarisierung der Qualifikationen beherrscht (KERN, SCHUMANN 1970, S. 139 f.). Nach dieser Hypothese profitiert bei der Einführung neuer Fertigungstechnologien nur ein Teil der Mitarbeiter von einer Qualifikationserweiterung. Für einen anderen Teil der Belegschaft wird deren Anforderungsprofil auf einfache Einlegearbeiten reduziert. In vielen Fällen bewirkt die Erhöhung des Automatisierungsgrades darüber hinaus die Freistellung von Personal. Diese Aussage belegen KERN und SCHUMANN (1970, S. 53 ff.) mit einer empirischen Untersuchung über den Einfluss der technischen Entwicklung auf die Qualifikationsanforderungen. Um dieser Polarisierung entgegenzuwirken, schlagen BENZ-OVERHAGE u.a. (1981, S. 56 f.) sowie BARTENSCHLAGER u.a. (1982, S. 29) arbeitsorganisatorische Maßnahmen vor, z.B. eine Reduzierung der Arbeitsteilung, um die Flexibilität und Qualifikationen der Mitarbeiter zu erweitern.

Die Problematik einer Polarisierung der Qualifikationen findet sich auch in der zu Beginn der 90er-Jahre vorherrschenden Diskussion über die Einführung des Computer Integrated Manufacturing (CIM) wieder. EIDENMÜLLER (1995, S. 158 ff.) merkt dazu an, dass die Umsetzung von CIM-Konzepten nicht mit der Eliminierung der menschlichen Arbeit durch extrem hohe Automatisierung gleichzu-

setzen ist, sondern nur mit hoch qualifizierten und flexiblen Mitarbeitern durchgeführt werden kann.

Im Zuge der Reduzierung der Arbeitsteilung werden Umfeldaufgaben, die ursprünglich dem Bereich der Fertigung zugeordnet waren, wie z.B. Arbeitsvorbereitung, Qualitätsprüfung und Instandhaltung, und dann in so genannte indirekte Bereiche eines Produktionsunternehmens integriert wurden, wieder in die Fertigung zurückverlagert. Die (Re-)Integration von Umfeldaufgaben in die Fertigung führt dazu, dass die Mitarbeiter eine größere Anzahl verschiedener Arbeitsaufgaben ausführen und beispielsweise neben dem Bedienen einer Maschine auch für die Einrichtung und Instandhaltung bis hin zur Festlegung der Ausbringungsmenge selbst verantwortlich sind. Voraussetzung einer solchen Aufgabenbereicherung ist jedoch die Bereitschaft der Mitarbeiter zur Erweiterung ihrer Qualifikationen (WILDEMANN 1990, S. 232).

Die Entwicklungen der Technik und der Arbeitsorganisation haben somit in vielen Fertigungen bereits zu einem grundlegenden Wandel der Anforderungen an die Mitarbeiter geführt. Die physiologische Belastung und Beanspruchung tritt angesichts mechanisierter sowie automatisierter Fertigungstechnologien in den Hintergrund. So ist mit der Technologieentwicklung eine Verringerung der Belastungen verbunden, die sich aus ungünstigen Umgebungseinflüssen (z.B. Lärm, Hitze oder toxische Stoffe) ergeben (WILDEMANN 1990, S. 234).

Von Bedeutung sind jedoch weiterhin psychische Belastungs- und Beanspruchungsfaktoren. Die psychische Beanspruchung kann als Folge der psychischen Belastung interindividuell unterschiedlich auftreten, wobei neben beeinträchtigenden Effekten durchaus auch positive Effekte, wie z.B. Übungseffekte, auftreten können (NITSCH, UDRIS 1976, S. 12; DIN EN ISO 10075-1, 2000, S. 3). Insbesondere die Reduzierung beeinträchtigender Effekte wie ermüdungsähnliche Zustände und Monotonie sind bei der Gestaltung der Arbeitsorganisation von zunehmendem Interesse.

2.2.3 Stellenwert der Personalentwicklung im Unternehmen

Eine vom Bundesministerium für Forschung und Bildung im Dreijahres-Turnus durchgeführte Befragung zur beruflichen Weiterbildung zeigt, dass die Teilnahme an beruflichen Weiterbildungsveranstaltungen seit 1979 kontinuierlich angestiegen ist (KUWAN, THEBIS 2001, S. 12 f.). Dabei sind die Unternehmen in den letzten Jahrzehnten zu den wichtigsten Trägern der beruflichen Weiterbildung geworden (HEEG 1993, S. 15). Dies verdeutlicht, dass die Unternehmen die Personalentwicklung als strategischen Erfolgsfaktor erkannt haben (BECKER 2002, S. 2; SCHOLZ 1994, S. 1). Die strategische Ausrichtung der Personalentwicklung erfordert jedoch die gleichrangige Berücksichtigung zweier Zielsetzungen: Einerseits erfolgt die Personalentwicklung mit dem Ziel, personalbedingte Engpässe zu beseitigen, um damit eine störungsminimale Aufgabenerfüllung in der Fertigung sicherzustellen. Andererseits ist es die Aufgabe der Personalentwicklung, die Fähigkeiten und Potenziale und damit die Lernfähigkeit und Motivation der Mitarbeiter zu fördern (HÖFER 1997, S. 63). Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird daher eine Personalentwicklungsplanung vorgestellt, die neben der produktionslogistischen und monetären Bewertung auch eine Bewertung nach personalbezogenen Zielsetzungen erlaubt.

2.3 Integration der Personalentwicklungsplanung in die Unternehmensplanung

Die Personalentwicklungsplanung erfolgt nicht isoliert, sondern muss im Kontext der Erzeugnis- und Fertigungstechnologieentwicklung sowie der organisatorischen Veränderungen, mit denen Produktionsunternehmen konfrontiert sind, betrachtet werden (STROHMEIER 1995, S. 17 ff.; MAG 1998, S. 53). Gute Planungslösungen können nur durch die Integration der Personalentwicklungsplanung in alle weiteren tangierten Teilplanungen, wie z.B. Produktions-, Absatz- und

Investitionsplanung, erzielt werden. Die Umsetzung eines solchen Integrationsansatzes ist jedoch in der betrieblichen Praxis mit Problemen verbunden, da oftmals nicht alle für die Personalentwicklungsplanung relevanten Teilbereiche (vgl. Abb. 2-3) angemessen berücksichtigt werden können. Häufig eingesetzte Instrumente zur Integration der Personalentwicklungsplanung in die Unternehmensplanung sind dadurch gekennzeichnet, dass sie die Komplexität des Integrationsproblems zu reduzieren versuchen (STROHMEIER 1995, S. 8).

2.3.1 Strukturierte Instrumente

Oftmals erfolgt die Integration der Personalentwicklung in die Unternehmensplanung nur intuitiv, womit die Qualität der Planungslösung stark vom Wissen der Planungsbeauftragten abhängt. Ein strukturiertes Instrument ist die dynamische Profilmethode (WISSEMA, BRAND, VAN DER POL 1981, S. 361 ff.). Dabei wird die bekannte Methode des Profilvergleichs (vgl. z.B. ZÜLCH 1976, S. 226 ff.) dynamisiert, d.h. auf einen längeren Betrachtungszeitraum ausgeweitet. Die Methode beschreibt zu erwartende Veränderungen der Funktionsanforderungen und stellt diese den Fähigkeitsprofilen der Mitarbeiter gegenüber. Die dynamische Profilmethode wird vorrangig zur Personalentwicklungsplanung von Führungskräften eingesetzt (vgl. z.B. STROHMEIER 1995, S. 62).

Ein Instrument, das eine Vielzahl von Interdependenzen bei der Integration der Personalentwicklung in die Unternehmensplanung berücksichtigt, ist die Cross-Impact-Analyse. Je nach Zielsetzung der Planung werden in einer Matrix verschiedene Gegenstandsbereiche gegenübergestellt. So lassen sich im Rahmen der Personalentwicklungsplanung die Bereiche Produkt, Technologie, Organisation und Personal identifizieren. Jeder Gegenstandsbereich kann weiter untergliedert werden: Beispielsweise wird die Produktplanung nach einzelnen Erzeugnissen unterteilt, der Gegenstandsbereich Technologie in die vorhandenen und geplanten Betriebsmittel. Aus einer paarweisen Schätzung der "Cross-Impacts" lassen sich u.a. Abhängig-

keiten der Personalplanung von den übrigen Teilplanungen ableiten (SCHOLZ 1994, S. 205). Bei der Einschätzung der "Cross-Impacts" hängt jedoch die Qualität der Planungsergebnisse von der Kompetenz der Planungsbeauftragten ab.

2.3.2 Personal-Portfolios

Die Portfolio-Analyse stellt ein weiteres klassisches Instrument strategischer Unternehmensplanung zur Integration der Personalentwicklungsplanung dar. Grundsätzliches Ziel der Portfolio-Analyse ist die Positionierung von Geschäftseinheiten in einer Matrix, um daraus eine Entscheidungsgrundlage für die Beschaffung von finanziellen, materiellen und personellen Ressourcen zu erzeugen, damit das Unternehmen in seiner Gesamtheit effizient ist. Der wesentliche Vorteil der Portfolio-Methodik ist deren Eignung als Visualisierungs- und Kommunikationsinstrument (HINTERHUBER 1992, S. 106). So existieren neben Markt- und Technologie-Portfolios auch Personal-Portfolios. Bei Personal-Portfolios wird neben der Positionierung einer strategischen Geschäftseinheit die Personalqualität dieses Geschäftsbereichs dargestellt. Für die Einschätzung der Personalqualität können beispielsweise die Kriterien Know-how, Fremdsprachen, Kreativität, Altersstruktur und Führungspotential verwendet werden. Je nach strategischer Bedeutung und Personalqualität einer Geschäftseinheit lassen sich entsprechende Maßnahmen der Personalentwicklung ableiten. Beispielsweise erfordern Geschäftseinheiten mit hoher strategischer Bedeutung und niedriger Personalqualität eine Verstärkung der quantitativen oder qualitativen Personalentwicklung (STROHMEIER 1995, S. 82 ff.).

Personal-Portfolios erfüllen zwar den Anspruch der Integration von Personal- und Unternehmensentwicklung, das Hauptaugenmerk gilt jedoch der Identifikation von Geschäftseinheiten, für die ein Personalentwicklungsbedarf besteht. Die Identifikation strategischer Geschäftseinheiten ist jedoch nicht Bestandteil der hier zu behandelnden Problemstellung. Das hier zu entwickelnde Konzept bezieht sich vielmehr auf die Personalentwicklung für ein bestimmtes Fer-

tigungssystem. Auch fehlt bei der Portfolioanalyse der in der Problemstellung in Kapitel 1.2 angesprochene Bezug zur zeitlichen Synchronisation der Personalentwicklung mit der Erzeugnis- und Fertigungstechnologieentwicklung.

2.3.3 Lebenszyklus-Instrumente

Das Konzept des Lebenszyklus wurde ursprünglich zur Beschreibung der einzelnen Lebensphasen von Erzeugnissen entwickelt, und zwar meist in Bezug auf Absatz oder Erfolgsbeitrag (STROHMEIER 1995, S. 78; SIEGWART, SENTI 1995, S. 4). Zur Integration der Personalentwicklung in die Unternehmensplanung wird dieses Instrument eingesetzt, um in Abhängigkeit von den einzelnen Phasen des Produktlebenszyklus unterschiedliche Führungskräfte Typen zu planen (STROHMEIER 1995, S. 80). Hierbei wird unterstellt, dass in verschiedenen Lebensphasen des Produktes unterschiedliche Führungseigenschaften erforderlich werden.

Die qualitative Planung von Führungskräften ist zwar nicht Gegenstand der dargestellten Problemstellung, aber dennoch ist die Berücksichtigung der Produktlebenszyklen insbesondere für die quantitative Personalentwicklungsplanung der Fertigungsmitarbeiter von Interesse und wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit entsprechend umgesetzt (zur Modellierung einer mehrphasigen quantitativen Erzeugnisentwicklung vgl. Kap. 3.3.1.1).

2.3.4 Konzepte zur Integration betrieblicher Teilplanungen

In der Literatur zu den vorgestellten Methoden zur Integration der Personalentwicklungsplanung in die Unternehmensplanung ist erkennbar, dass vielfach eine Diskrepanz zwischen personalwirtschaftlicher Forschung und deren Anwendung in der industriellen Praxis zu beobachten ist (STROHMEIER 1995, S. 9). Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, ein Integrationsinstrument zu entwickeln, das der Kom-

plexität der Personalentwicklungsplanung gerecht wird und für die Entwicklung von Personalstrukturen in komplexen Fertigungssystemen geeignet ist. Vor diesem Hintergrund werden Planungskonzepte vorgestellt, die Raum für eine Integration verschiedener betrieblicher Teilplanungen bieten.

2.3.4.1 Integration der Erzeugnis- und Fertigungstechnologieentwicklung in die Organisationsentwicklung

HAYES und WHEELRIGHT (1984, S. 197 ff.) stellen einen Ansatz vor, der die Anpassung von Fertigungstechnologien an die Struktur des Erzeugnisprogramms behandelt. In Abhängigkeit von den Lebenszyklen der betrachteten Erzeugnisse werden Konzepte zur Integration neuer Fertigungstechnologien in Fertigungsprozesse aufgezeigt.

Einen ähnlichen Ansatz für eine Integration von Produkt-, Prozess- und Organisationsentwicklung verfolgen KOTHA und ORNE (1989, S. 211 ff.). Anhand der Erzeugnis- und Prozessstruktur sowie der strategischen Zielsetzungen eines Unternehmens werden allgemeine Handlungsstrategien abgeleitet. Gestaltungsgrundsätze für die Umsetzung dieser Strategien fehlen bei diesem Ansatz allerdings.

Konkretere Gestaltungshinweise für die Integration von Produkt-, Prozess- und Organisationsentwicklung liefern SAVÉN und OLHAGER (2002, S. 375 ff.). Als externe Einflussgröße für Veränderungen im Unternehmen steht die Entwicklung der Produktlebenszyklen im Vordergrund. Integrationsbasis ist die Gestaltung der Unternehmensprozesse. Bei der Prozessgestaltung werden neben der produktorientierten Sichtweise auch ressourcen- und organisationsorientierte Sichtweisen miteinander verknüpft. Die Integration der Personalentwicklungsplanung in den Veränderungsprozess wird jedoch in keinem der Ansätze konkret erwähnt.

2.3.4.2 Technologiekalender-Konzepte

2.3.4.2.1 Überblick

Ein Instrument für eine integrierte Erzeugnis-, Markt- und Investitionsplanung ist der Technologiekalender (EMMERT 1994, S. 42).

Der Technologiekalender hatte zunächst zum Ziel, das Defizit einer einseitigen Konzentration der strategischen Unternehmensplanung auf die Marktentwicklung auszuräumen. In diesem Fall ist die Entwicklung der Produktion nicht Gegenstand der strategischen Planung und wird erst im operativen Bereich in Form einer reaktiven Vorgehensweise aufgegriffen. Eine Voraussetzung für eine erfolgreiche Produkt- und Marktpositionierung ist jedoch die Nutzung des gesamten Potenzials von vorhandenen sowie zukünftigen Technologien. Damit sind nicht ausschließlich Erzeugnistechnologien gemeint, die einen höheren Kundennutzen erbringen, sondern auch Fertigungstechnologien, die eine rationellere Fertigung ermöglichen.

Daraus ergibt sich zwangsläufig die Forderung nach einer Synchronisation der Entwicklung der Fertigung mit der Erzeugnisentwicklung (WESTKÄMPER 1986, S. 181). Eine Synchronisation wird erforderlich, wenn in der Fertigung Veränderungen der Technologien vorgenommen werden, die das betrachtete Fertigungssystem nachhaltig beeinflussen. Die sich für das Fertigungssystem ergebenden Maßnahmen wirken in der Regel mittel- bis langfristig und haben einen erheblichen Einfluss auf die Planung der Ressourcen, insbesondere auf die Planung der zukünftigen Personalstruktur (BURGSTAHLER 1997, S. 2). Um für die angesprochene Problemstellung eine durchgängige Methodik hinsichtlich der Synchronisation der angesprochenen Entwicklungsbereiche anbieten zu können, werden in der Literatur verschiedene Technologiekalender-Konzepte diskutiert. Die Ansätze unterscheiden sich dabei je nach Anwendungsbereich und Zielsetzung (BURGSTAHLER 1997, S. 69; RIEDMILLER 1998, S. 39).

2.3.4.2.2 Technologiekalender-Konzept nach WILDEMANN

WILDEMANN (1993, S. 564 ff.) setzt den Technologiekalender zur Abbildung des zukünftigen Investitionsverhaltens und den daraus resultierenden Entwicklungsmöglichkeiten eines Unternehmens ein. Die Gegenstandsbereiche gliedern sich dabei in einen Technologie- und einen Struktursektor. Hierbei sind die Produkt- und Informationstechnologien sowie Werkstofftechnologien im Technologiesektor zusammengefasst. Im Rahmen des Struktursektors wurden die Teil-

bereiche Programmstruktur, Organisations- und Kapazitätsstruktur unterschieden. Die Kapazitätsstruktur ist die geplante Kapazitätsangebots- und -bedarfsstruktur, die vom Produktionsprogramm abhängt. Die zeitliche Abhängigkeit der Teilbereiche sowie die wechselseitigen Abhängigkeiten der Sektoren untereinander stellt der Technologiokalender dar. Diese Interdependenzbetrachtung soll verdeutlichen, dass Investitionsentscheidungen nicht isoliert von der Unternehmensentwicklung getroffen werden können.

Um den Einfluss gegenwärtiger und zukünftiger Maßnahmen auf eine Investitionsentscheidung analysieren zu können, bietet das Technologiokalender-Konzept von WILDEMANN ein Erklärungsmodell an, das vielfältige Einzelfaktoren berücksichtigt (EMMERT 1994, S. 6 ff.). Mit dieser Vorgehensweise sollen unterschiedliche Gestaltungsvarianten für zusammenhängende Investitionsketten erzeugt werden, um daraus ein optimales Investitionsprogramm zu ermitteln (WILDEMANN 1993b, S. 594). Die Konsequenzen verschiedener Investitionsvorhaben können z.B. nach der maschinellen Kapazitätsentwicklung, der Veränderung der Betriebsmittelnutzung, der Anlagenverfügbarkeit sowie nach der Durchlaufzeit der Erzeugnisse quantifiziert werden.

2.3.4.2.3 Technologiokalender nach EVERSHEIM

Das Konzept von EVERSHEIM (EVERSHEIM u.a. 1996, S. 105 ff.) stellt die Erzeugnisse und die potenziell einsetzbaren Technologien einander gegenüber. Dabei werden mögliche Fertigungstechnologien und zukünftige Technologieentwicklungen bestimmten Erzeugnissen zugeordnet. Diese Zuordnung kann sowohl für einen kurzfristigen als auch für einen mittel- bis langfristigen Planungshorizont erfolgen. Je nach Zielsetzung liefert der Technologiokalender Informationen für verschiedene betriebliche Funktionsbereiche: Für die Forschung und Entwicklung sowie die Konstruktion können frühzeitig technologie-spezifische Bedingungen bei der Entwicklung von Bauteilen und der Erzeugnisstruktur berücksichtigt werden. Für die Fertigung gilt es, rechtzeitig potenzialträchtige Technologien in bestehende Fertigungs- und Organisationsstrukturen zu integrieren. Für die Unternehmensleitung dient der Technologiokalender zur strategischen Unter-

nehmensplanung, insbesondere bei der Festlegung der strategischen Investitionen.

Um eine gezielte Früherkennung von Technologieentwicklungen zu ermöglichen, wurde am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie in Aachen eine Software für das elektronische Technologiemanagement (*eTEMsolution*) entwickelt, mit dem systematisch Chancen und Risiken neuer Technologien erfasst werden sollen (EVERSHEIM, GERHARDS, WALKER 2001 S. 41 f.). Darüber hinaus soll der Einsatz von *eTEMsolution* eine gezielte Analyse aller Produkt- und Technologiedaten unterstützen, um Synergieeffekte zwischen Technologien und Erzeugnissen zu identifizieren und auszunutzen.

Zusätzlich lassen sich unternehmensspezifische Module integrieren, die Nachrichten und Berichte von Forschungseinrichtungen und Kooperationspartnern enthalten. Unterstützt wird dies z.B. durch den vom Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie entwickelten Datenbankprototyp *dabit* (Datenbank für innovative Technologien), in dem Technologiedaten von über 150 Produktionstechnologien strukturiert erfasst sind (EVERSHEIM, GERHARDS, WALKER 2001 S. 40).

2.3.4.2.4 *Technologiekalender nach WESTKÄMPER*

WESTKÄMPER (1986, S. 148 ff.) stellt die Synchronisation von Erzeugnis- und Fertigungsentwicklung in den Vordergrund. Dabei wird die Entwicklung des Erzeugnisprogramms über mehrere Phasen hinweg dargestellt.

Die Vorgehensweise wurde ursprünglich für die strategische Unternehmensplanung beim Bau verschiedener Typen der Airbus-Familie entwickelt. Da die Luftfahrtindustrie durch hohe Vorleistungen in der Entwicklung und Fertigung sowie durch eine hohe Lebenserwartung der Erzeugnisse geprägt ist, beschränkte sich die Anwendung ursprünglich auf eine langfristige Darstellung der Erzeugnis- und Technologieentwicklung im Technologiekalender. Der Ansatz geht dabei von einem fest vorgegebenen Erzeugnisprogramm aus. Welche Technologien jeweils in der Entwicklung neuer Erzeugnistypen zu berücksichtigen sind, wird mit den produktionstechnischen Möglichkeiten abgestimmt.

Zur graphischen Verdeutlichung unterscheidet der Technologiekalender nach WESTKÄMPER drei Sektoren: Im Sektor Erzeugnisprogramm werden die neu zu planenden Erzeugnisse mit dem Zeitpunkt des vorgesehenen Serienstarts eingetragen. In den Sektoren Erzeugnis- und Fertigungstechnologien finden sich die neuen Technologien zum spätesten Zeitpunkt ihrer Serienreife wieder (zur Aufteilung des Technologiekalenders in Sektoren vgl. auch Abb. 3-8).

Hinsichtlich der eindeutigen Beschränkung auf die Erzeugnis- und Technologiesektoren, die im Rahmen der Problemstellung mit der Personalentwicklung abzustimmen sind, eignet sich das Technologiekalender-Konzept von WESTKÄMPER am besten und wird in der vorliegenden Arbeit aufgegriffen und entsprechend erweitert. Dabei werden die drei oben genannten Sektoren um den Sektor der Personalentwicklung ergänzt. Das Ziel ist hierbei, Personalentwicklungsmaßnahmen im Sinne einer mit der Erzeugnis- und Fertigungstechnologieentwicklung synchronisierten Personalentwicklung abzustimmen.

Solche Ansätze zur Weiterentwicklung einer Personalstruktur in diesen Umstellungsprozessen fehlen bislang. Es besteht somit nach wie vor ein grundlegender Handlungsbedarf zur Entwicklung neuer Methoden in Bezug auf die Einbindung der personellen Ressourcen in den Planungsprozess (BURGSTAHLER 1997, S. 110).

2.4 Methoden zur Planung der Personalentwicklung

Bereits bei HEEL (1999, S. 36 ff.) und VOLLSTEDT (2002, S. 53 f.) werden zahlreiche Methoden zur Planung von Personalstrukturen erwähnt. Die von HEEL (1999, S. 38) vorgenommene Systematik zur Klassifizierung der Methoden wird hier weitgehend übernommen, wobei für die vorliegende Arbeit insbesondere neuere Entwicklungen der simulationsunterstützten Methoden ergänzt werden.

2.4.1 Statische Methoden

Im Gegensatz zu dynamischen Methoden wird bei statischen Methoden der zeitliche Arbeitsablauf im Fertigungssystem nicht berücksichtigt. Aus diesem Grund sind derartige Methoden ungenauer und realitätsferner und werden in der vorliegenden Arbeit nicht weiter berücksichtigt. Zu den statischen Methoden zählen u.a. statistische Verfahren, wie die exponentielle Glättung oder die Regressionsanalyse, die beispielsweise zur Ermittlung des quantitativen Personalbedarfs eingesetzt werden (MAG 1998, S. 73; REFA 1991b, S. 282). Bei der exponentiellen Glättung wird das Gewicht, mit dem gegenwartsnahe und gegenwartsferne Personaleinsatzbedarfe in die Berechnung einfließen, durch einen Glättungsfaktor bestimmt. Die Regressionsanalyse stellt einen statistischen Zusammenhang zwischen dem quantitativen Personalbedarf und der Menge der zu fertigenden Erzeugnisse her.

Weiterhin sind aus der Literatur zahlreiche Ansätze aus dem Operations Research bekannt, die das Planungsproblem als lineares Optimierungsproblem beschreiben. Eine vereinfachte Vorgehensweise zur Planung der Qualifikationen einer Personalstruktur mit Hilfe der Linearen Programmierung stellt SCHOLZ (1994, S. 212 ff.) vor. Dabei werden Mitarbeiter vorgegebenen Anforderungskategorien unter Berücksichtigung von Mehrfachqualifikationen zugeordnet. Im Modell wird allerdings unterstellt, dass alle Mitarbeiter unabhängig von ihrer Qualifikation dieselben Kosten verursachen.

Auch HOPP und SPEARMAN (1996, S. 502 ff.) sowie CHUNG und KRAJEWSKI (1984, S. 389 ff.) formulieren die Personalentwicklungsplanung als lineares Optimierungsproblem. In Abhängigkeit von der quantitativen Produktentwicklung besteht das Optimierungsproblem bei CHUNG und KRAJEWSKI darin, die Personalkosten zu minimieren. Die Zielfunktion setzt sich aus den Personalbeschaffungs- und -freistellungskosten sowie aus den Fertigungslohnkosten zusammen, wobei auch Kosten für Mehrarbeit berücksichtigt werden.

Einen weiteren Planungsansatz aus dem Operations Research, der neben den quantitativen auch die qualitativen Aspekte der Personalentwicklung über mehrere Phasen hinweg berücksichtigt, liefern

BORDOLOI und MATSUO (2000, S. 169 ff.). Mit der Zielsetzung, die Personaleinsatz- und Personalentwicklungskosten zu minimieren, wird in Abhängigkeit von der Erzeugnis- und Fertigungstechnologieentwicklung die optimale Zuordnung von Mitarbeitern zu verschiedenen Qualifikationsstufen bestimmt. Eine detaillierte Beschreibung der Qualifikationsstufen sowie eine Bewertung nach produktionslogistischen Kriterien fehlen diesem Ansatz jedoch.

2.4.2 Rechnerunterstützte Methoden

Allgemein hat sich das Software-Angebot zur rechnerunterstützten Personalplanung im Verlauf der letzten Jahre verbreitert. So wird durchaus Standard-Software als Planungshilfsmittel für eine Reihe von Teilbereichen der Personalplanung angeboten und eingesetzt (MÜLDER, SEIBT 1994, S. 7). Eine Übersicht über einschlägige Standard-Software zur Personalplanung, die den Aspekt der Personalentwicklungsplanung berücksichtigen, ist bei VATTEROTH (1994, S. 305) zu finden. Kommerzielle Verfahren setzen in der Regel zur Planung der qualitativen Personalentwicklung die Methode des Profilvergleiches ein. Mit dieser Methode werden Anforderungs- und Fähigkeitsprofile gegenübergestellt, um qualitative Über- bzw. Unterdeckungen zu ermitteln (vgl. z.B. ZÜLCH 1976, S. 226 ff.; REFA 1991b, S. 245; TUBUSMETALL u.a. 1995, S. 169 ff.).

2.4.3 Personalintegrierte und personalorientierte Simulation

Alle bisher genannten Verfahren bieten den Entscheidungsträgern relevante Informationen an, dabei wird jedoch die Komplexität des Planungsproblems stark reduziert. So bleibt die dynamische Interaktion zwischen Auftragsprogramm, Betriebsmittelstruktur und Personalqualifikation unberücksichtigt. Insbesondere werden hierbei personelle Engpässe, die sich aufgrund fehlender Qualifikationen der Mitarbeiter im dynamischen Ablauf bei der Abarbeitung eines Auf-

tragsprogramms ergeben können, nicht berücksichtigt. Um das komplexe Zusammenwirken von Auftragsprogramm und Betriebsmittelstruktur sowie der Qualifikationsstruktur der Fertigungsmitarbeiter bei der Personalentwicklungsplanung darstellen zu können, sind die genannten Methoden nicht ausreichend.

Zur Erfassung der komplexen Zusammenhänge, die mit der Planung des Personals verbunden sind, ergibt sich die Notwendigkeit, dynamische Methoden einzusetzen. Hierfür bietet sich die Simulation als geeignetes Planungshilfsmittel an. Allerdings kommen im Allgemeinen Simulationsverfahren zum Einsatz, die das Personal zumeist in gleicher Weise wie Betriebsmittelkomponenten abbilden oder die bei der Simulation von einer freien Verfügbarkeit des Personals ausgehen (OHSE 1993, S. 109). Mit solchen Modellannahmen können die Ergebnisse der Simulation allerdings nur mit Einschränkungen auf die Realität eines Fertigungssystems übertragen werden (ZÜLCH, HEEL, BRINKMEIER 1998, S. 176). Um insbesondere das dynamische Zusammenwirken von Personal und Betriebsmitteln in Fertigungssystemen zu berücksichtigen, wurden in neueren Ansätzen zur Fertigungssystemplanung personalintegrierte und personalorientierte Simulationsverfahren entwickelt, die das Personal als eigenständiges Modellelement neben den Fertigungs- bzw. Fördermitteln abbilden (ZÜLCH, VOLLSTEDT 2000, S. 185 ff.; VDI 3633, Blatt 6, 2001, S. 2).

An ein personalintegriertes Simulationsverfahren sind als Mindestanforderung u.a. die Modellierbarkeit unterschiedlicher Personaltypen (z.B. Einrichter, Maschinenbediener) sowie die getrennte Darstellung von Arbeitszeiten des Personals und Betriebszeiten der Betriebsmittel zu nennen (VDI 3633, Blatt 6, 2001, S. 4). Zusätzlich zu den Möglichkeiten der personalintegrierten Simulation sind personalorientierte Simulationsverfahren durch einen erhöhten Detaillierungsgrad der Menschmodellierung, z.B. durch die Berücksichtigung der Leistungsdynamik des Menschen sowie einer detaillierten Qualifikationsabbildung und einer gezielten Zuordnung des Personals zu Arbeitsvorgängen, gekennzeichnet (ZÜLCH, HEEL, BRINKMEIER 1998, S. 176 f.). Im Vergleich zu personalintegrierten Verfahren ist damit ein erhöhter Aufwand bei der Datenerhebung und

Modellierung verbunden (VDI 3633, Blatt 6, 2001, S. 6; KLINGER 1999, S. 46).

2.4.4 Simulationsunterstützte Methoden zur Personalentwicklungsplanung

Die meisten der simulationsunterstützten Ansätze zur Planung von Personalstrukturen basieren auf dem Prinzip des Versuchs und Irrtums. Hierbei können gute Planungslösungen mit Hilfe des Erfahrungswissens des Planers ermittelt werden. Methoden und Untersuchungen nach diesem Prinzip finden sich u.a. bei MJEMA (1998, S. 47 ff.), ZÜLCH u.a. (1998, S. 91 ff.), SCHWEIZER (1992, S. 39 ff.), ISLO, SOHLENIUS (1991, S. 459 ff.), BULLINGER, RALLY, SCHWEIZER (1990, S. 55 ff.) sowie GRANOW (1985, S. 189 ff.).

Weiterhin existieren simulationsunterstützte Methoden, die eine einmalige Umplanung von bereits existierenden Personalstrukturen ermöglichen. Methoden, die diesen Ansatz verfolgen, werden u.a. genannt bei ZÜLCH, BONGWALD, KRÜGER (1998, S. 79 ff.), LUNZE (1997, S. 468 ff.), COCHRAN, CHU, CHU (1997, S. 3393 ff.), SCHWEIZER (1994, S. 65 ff.), ZÜLCH, BAMBERGER, SCHINDELE (1993, S. 170 ff.), ZÜLCH (1992a, S. 243 ff.), HEITZ, ERNST, WALDHIER (1991, S. 168 ff.), ZÜLCH, ERNST (1990, S.-220 ff.), ZÜLCH (1989, S. 291 ff.), KLAUKE, ZÜLCH (1985, S. 473 ff.) sowie KLAUKE (1980, S. 12 ff.).

Dem Prinzip von Versuch und Irrtum beim Auffinden von Planungslösungen folgt auch ERNST (1991, S. 14 und S. 109 ff.; ERNST, HEITZ 1991, S. 3 und S. 67 ff.; ZÜLCH, ERNST 1991, S. 423 f.). Dabei stellt er verallgemeinerbare Aussagen für die Planung von Personalstrukturen in Fertigungsbereichen auf. Damit wurden in diesen Arbeiten erste quantitative und qualitative Regeln zur Personaleinsatzplanung im Fertigungsbereich abgeleitet.

BARDENS (1987, S. 186 ff.) stellt einen dynamischen Simulationsansatz vor, der insbesondere die Entwicklung der Qualifikationsstruktur vorhandener Personalstrukturen betrachtet. Als wesentliche Ursache für die qualitative Personalentwicklung wird in diesem

Ansatz die Technologieentwicklung identifiziert. Die vorgestellte simulationsunterstützte Methodik berechnet jedoch lediglich das Qualifikationsniveau für ausgewählte Technologien. Grundlage für die Berechnung ist die Zeitdauer für den Erwerb von Qualifikationen bzw. für das Vergessen. Als Ergebnis erhält man den erforderlichen Entwicklungsbedarf, der für das Qualifikationsniveau einer Technologie notwendig ist.

HARZALLAH und VERNADAT (2001, S. 699 ff.; 2002, S. 157 ff.) beschreiben einen formalen Ansatz zur Modellierung von Kompetenzen in einem Unternehmen. Kompetenzen werden u.a. nach Wissen, Können und Verhalten (Savoir, Savoir-faire und Savoir-être) unterschieden. Neben der Modellierung von Kompetenzstrukturen in Fertigungssystemen werden in diesem Modell auch alle relevanten Teilbereiche, wie z.B. Fertigungstechnologien, Erzeugnisse und Prozesse, abgebildet, für die derartige Kompetenzen angefordert werden. Mit der Implementierung derartiger Kompetenzstrukturen in ein Simulationsverfahren lässt sich das komplexe Zusammenwirken von verfügbaren und angeforderten Kompetenzen abbilden. Durch den Vergleich von verfügbaren und angeforderten Kompetenzen werden Defizite ermittelt und daraus konkrete Qualifizierungsmaßnahmen abgeleitet. Neben der Identifikation kurzfristiger Kompetenzdefizite ist die Vorgehensweise auch für die strategische Personalentwicklungsplanung geeignet. Eine simulationsunterstützte Methode zur Anpassung von Kompetenzen einer Personalstruktur an veränderte Unternehmensprozesse beschreiben auch AJAEFOBI und WESTON (2003, S. 46 ff.), wobei die Leistungsfähigkeit alternativer Kompetenzstrukturen anhand produktionslogistischer Kriterien mit Hilfe der Simulation bewertet werden kann.

Zur Steigerung der Effektivität bei der Personalstrukturplanung hat HEITZ (1994, S. 127 ff.) ein Zwei-Phasen-Konzept mit heuristischer Lösungsfindung entwickelt. Damit wird erstmals eine zielgerichtete Vorgehensweise bei der Planung von Personalstrukturen verfolgt. Die Lösungsfindung erfolgt nach diesem Konzept in zwei Phasen: In der ersten Phase (Initialisierungsphase) werden eine oder mehrere Ausgangslösungen algorithmisch erzeugt, die in der zweiten Phase (Iterationsphase) durch die Anwendung vorher definierter Strategien unter

Einsatz der Simulation zielgerichtet verbessert werden. Dieser Verbesserungsprozess erfolgt nach dem Konzept der engpassorientierten Qualifikationsanpassung. Dies bedeutet, dass die während eines Simulationslaufes auftretenden personalbedingten Engpässe protokolliert werden, um auf dieser Basis eine entsprechende zielgerichtete Modifikation der Personalstruktur vorzunehmen.

Als Suchalgorithmus zur Auffindung möglichst vorteilhafter Personalstrukturen wird eine problemangepasste Form des Sintflut-Algorithmus (vgl. DUECK 1993, S. 87; DUECK, SCHEUER, WALLMEIER 1993, S. 48) eingesetzt. Mit diesem Verfahren können Qualifikationsstrukturen des eingesetzten Personals mit Hilfe der Simulation zielgerichtet verbessert werden. ZÜLCH u.a. (1998, S. 97 ff.) weisen auf die Vorteilhaftigkeit einer solchen systematischen Methode gegenüber der konventionellen Vorgehensweise nach dem Versuch-Irrtum-Prinzip hin (zur ausführlichen Darstellung der Suchheuristik vgl. Kap. 4.3.2 und Kap. 9.2 im Anhang). Das Zwei-Phasen-Konzept mit heuristischer Lösungsfindung wurde im personalorientierten Simulationsverfahren *ESPE* (Engpassorientierte Simulation von Personalstrukturen; HEITZ 1994, S. 93 ff.) implementiert.

Ausgehend von der kombinierten Anwendung eines personalorientierten Simulationsverfahrens und eines heuristischen Suchalgorithmus hat HEEL (1999, S. 57 ff.) das Verfahren *ESPE-UP* (*ESPE* zur Umplanung und Planung des kurzfristigen Personaleinsatzes) entwickelt (vgl. auch ZÜLCH, HEEL, KRÜGER 1998a, S. 353; 1998b, S. 73). Bei der Umplanung von Personalstrukturen sind neben den vorhandenen Personen mit ihren individuellen Qualifikationen auch deren restriktive Eigenschaften, wie z.B. die qualifikatorischen Einschränkungen des Personals, aber auch deren individuelle Präferenzen, in den Planungsprozess einzubeziehen.

Das von HEEL (1999, S. 57) konzipierte Verfahren zur Umplanung von Personalstrukturen geht von einem einmaligen Umstellungsfall aus. Nicht berücksichtigt wird die mehrmalige Entwicklung von Personalstrukturen über mehrere Phasen hinweg. Doch gerade im Rahmen der Personalentwicklungsplanung müssen externe Einflüsse, die auf ein Unternehmen einwirken, wie z.B. Veränderungen des Erzeugnisprogramms oder die Einführung neuer Technologien über

mehrere Planungsphasen hinweg betrachtet werden. Eine Übersicht der aufgeführten rechner- bzw. simulationsunterstützten Methoden zur Personalentwicklungsplanung zeigt Tabelle 2-1. Dargestellt sind die von den Autoren berücksichtigten Teilaspekte der Personalentwicklungsplanung.

Die simulationsunterstützten Methoden berücksichtigen bisher nur zum Teil die Restriktionen einer vorhandenen Personalstruktur, wobei diese Methoden die Umplanung von Personalstrukturen für einen einmaligen Planungsfall erlauben. Berücksichtigt man die Entwicklung eines Fertigungssystems über mehrere Phasen hinweg, so steigt die Komplexität des Planungsproblems weiter an. Zu jedem Zeitpunkt einer Veränderung der Erzeugnisse und der Technologien ergeben sich in einem Fertigungssystem neue Anforderungen, für die eine Anpassung der Personalstruktur notwendig ist. Ziel der Betrachtung des mehrphasigen Umplanungsfalls ist eine Personalentwicklungsplanung, die sowohl für jeden einzelnen Zeitpunkt die erforderlichen Qualifikationen bestimmt als auch für den gesamten Planungshorizont aus alternativen Personalentwicklungspfaden den geeignetsten Personalentwicklungsplan generiert. Simulationsunterstützte Methoden, die eine Personalentwicklungsplanung für Fertigungssysteme über mehrere Phasen hinweg ermöglichen, sind bis auf eigene Veröffentlichungen (ZÜLCH, ROTTINGER 2004a, S. 625 ff; 2004b, S. 58 ff.) weder auf nationaler noch auf internationale Ebene bekannt.

| | quantitative Personalentwicklung | qualitative Personalentwicklung | Erzeugnisenwicklung | Technologieentwicklung | einmaliger Umplanungsfall | mehrphasige Personalentwicklung | rechnerunterstützt | Versuch und Irrtum zielgerichtet | simulations- unterstützt |
|--|----------------------------------|---------------------------------|---------------------|------------------------|---------------------------|---------------------------------|--------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| AJAEOFBI, WESTON 2003 | • | • | • | • | • | | | • | |
| BARDENS 1987 | | • | | • | | • | | • | |
| BORDOLOI, MATSUO 2000 | • | • | • | • | | • | • | | |
| BULLINGER, RALLY, SCHWEIZER 1990 | • | • | | | | | | • | |
| CHUNG, KRAJEWSKI 1984 | • | | • | | | • | • | | |
| COCHRAM, CHU, CHU 1997 | • | • | • | | • | | | • | |
| ERNST 1991; ERNST, HEITZ 1991; ZÜLCH, ERNST 1991 | • | • | | | | | | • | |
| ISLO, SOHLENIUS 1991 | • | • | | | | | | • | |
| HARZALLAH, VERNADAT 2002 | • | • | • | • | • | | | • | |
| HOPP, SPEARMAN 1996 | • | | • | | | • | • | | |
| HEEL 1999; ZÜLCH, HEEL, KRÜGER (1998a, 1998b) | • | • | • | • | • | | | | • |
| HEITZ 1994 | • | • | | | | | | | • |
| KLAUKE, ZÜLCH 1985; KLAUKE 1980 | • | • | • | • | • | | | • | |
| MJEMA 1998 | • | • | | | | | | • | |
| SCHWEIZER 1994 | • | • | • | • | • | | | • | |
| ZÜLCH, BAMBERGER, SCHINDELE 1993; ZÜLCH 1992a; HEITZ, ERNST, WALDHIER 1991 | • | • | • | • | • | | | • | |

Tab. 2-1: Methoden zur Personalentwicklungsplanung

3. Simulationsumgebung auf Basis des Technologiekalender-Konzeptes

In diesem Kapitel wird ein Simulationsansatz vorgestellt, der die wesentlichen externen Faktoren berücksichtigt, die einen direkten Einfluss auf die Personalentwicklung haben. Basis hierfür ist das Technologiekalender-Konzept. Mit der Integration des Technologiekalender-Konzeptes in eine geeignete Simulationsumgebung soll die Personalentwicklungsplanung in Abhängigkeit vom Erzeugnis- und Fertigungstechnologiewandel rechtzeitig und zielgerichtet unterstützt werden. Für die mehrmalige Umplanung von Personalstrukturen wird hierfür erstmals ein personalorientiertes Simulationsverfahren eingesetzt. Damit wird dem Planer eine Hilfestellung gegeben, die erforderlichen Personalentwicklungsmaßnahmen für Fertigungsmitarbeiter mit den übrigen Veränderungsprozessen in einem Fertigungssystem über mehrere Entwicklungsphasen hinweg abzustimmen.

3.1 Auswahl des Verfahrens

Die in der Literatur dargestellten Ansätze zur Personalentwicklungsplanung von Fertigungsmitarbeitern lassen erkennen, dass bislang nicht alle Aspekte, die für eine realistische Prognose des zukünftigen Personalentwicklungsbedarfs notwendig sind, berücksichtigt werden. Vielfach werden zur Ermittlung des Personalentwicklungsbedarfs statische Methoden eingesetzt. Statische Methoden vernachlässigen jedoch den zeitlichen Arbeitsablauf innerhalb eines Fertigungssystems und die dabei ggf. entstehenden personellen Engpässe.

Aufgrund dieser Unzulänglichkeit statischer Methoden sind eher solche Ansätze von Interesse, die die zeitlichen Aspekte des komplexen dynamischen Zusammenwirkens zwischen den Anforderungen

eines Fertigungssystems und der vorhandenen Qualifikationsstruktur der Fertigungsmitarbeiter abbilden können. Hierbei ist weniger die Fragestellung von Interesse, welcher Mitarbeiter für welche Anforderung qualifiziert ist. Entscheidend ist vielmehr, welcher modellierte Mitarbeiter welche Anforderungen eines Fertigungssystems aufgrund seiner zeitlichen Verfügbarkeit tatsächlich ausführen kann. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, die Simulation als Planungshilfsmittel einzusetzen. Wie bereits in Kapitel 2.4.2 erwähnt, ermöglichen personalorientierte Simulationsverfahren u.a. eine detaillierte Qualifikationsabbildung der Fertigungsmitarbeiter und sind in der Lage, die Planungsergebnisse außer nach produktionslogistischen und monetären Zielsetzungen auch nach personalbezogenen Kriterien zu bewerten.

Um insbesondere die kombinierten Anwendung der personalorientierten Simulation und eines heuristischen Suchalgorithmus (vgl. auch Kapitel 2.4.4; HEITZ 1994, S. 127 ff.) für die Personalentwicklungsplanung nutzbar zu machen, wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit das Simulationsverfahren *ESPE* (Engpassorientierte Simulation von Personalstrukturen) für die nachfolgenden Untersuchungen eingesetzt und an die sich aus einer mehrphasigen Erzeugnis- und Fertigungstechnologieentwicklung ergebenden Anforderungen entsprechend angepasst.

3.1.1 Das personalorientierte Simulationsverfahren *ESPE*

Zur Gruppe der personalorientierten Simulationsverfahren zählt das am Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation (ifab) der Universität Karlsruhe (TH) entwickelte Verfahren *ESPE* (HEITZ 1994, S. 93 ff.). Das Verfahren *ESPE* ist ein deterministisches, ereignisorientiertes Simulationsverfahren, das unter den *MS-WINDOWS*-Versionen 9X und NT/2000/XP lauffähig ist und objektorientiert in der Programmiersprache C++ (Borland C++ mit Applikationen) programmiert wurde. Die herausragende Eigenschaft des Simulationsverfahrens *ESPE* liegt in der zielgerichteten Vor-

gehensweise bei der Generierung heuristisch optimaler Personalstrukturen für Fertigungssysteme. Diese Vorgehensweise wird auch für die mehrphasige Personalentwicklungsplanung beibehalten.

Auf der Basis des von HEITZ entwickelten Verfahrens *ESPE*, das sich zunächst nur für die Neuplanung von Personalstrukturen eignete, wurde das Simulationsverfahren *ESPE-UP* (*ESPE* zur Umplanung und Planung des kurzfristigen Personaleinsatzes; HEEL 1999, S. 57 ff.) entwickelt, um die Reorganisation bereits vorhandener Personalstrukturen im Fertigungsbereich zu ermöglichen. Die mittelfristige Umplanung ist insbesondere durch die Eigenschaften der existierenden Personalstruktur, also der Stammebelegschaft, restriktionsbehaftet. Dazu zählen qualifikatorische Einschränkungen des Personals, aber auch deren individuelle qualifikationsbezogene Präferenzen. Im Grundsatz wird angenommen, dass in einem Fertigungssystem Personaltypen vorhanden sind, die vor dem Hintergrund ihrer vorhandenen Qualifikationen für eine Qualifikationserweiterung bevorzugt in Frage kommen. Umgekehrt können auch Einschränkungen einzelner Personaltypen auftreten, z.B. aufgrund arbeitsrechtlicher Bestimmungen. Um die Einschränkung, dass bei der Umplanung einer Personalstruktur nicht alle Personen bzw. Personaltypen beliebig qualifizierbar sind, zu berücksichtigen, werden in *ESPE-UP* die Präferenzen und Restriktionen der Personalstruktur in einem qualifikatorischen Präferenzsystem zusammengefasst. Für jedes Funktionselement kann dabei ein Neuzuordnung- bzw. Vereinfachungswert modelliert und bei der Zuordnung von Personen Mitarbeitern zu Funktionselementen berücksichtigt werden (vgl. Kap. 4.2.1). Auch lassen sich in *ESPE-UP* die im Rahmen der einmaligen Umplanung anfallenden personellen Umplanungskosten in die heuristische Optimierung einbeziehen.

Eine weitere aus *ESPE* hervorgegangene Entwicklung ist das Verfahren *ESPE-IH* (*ESPE* für die Instandhaltung; VOLLSTEDT 2002, S. 65 ff.). Die wesentliche Erweiterung hierbei ist die Modellierung und Simulation von Störungen und Instandhaltungsmaßnahmen auf Basis von Abnutzungsvorratskurven der Betriebsmittel. *ESPE-IH* dient damit der Entscheidungsunterstützung bei der Wahl einer geeigneten Instandhaltungsstrategie für ein gegebenes Fertigungssystem. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird der Instand-

haltungsbereich jedoch nur unter dem Aspekt der Personalentwicklung behandelt. Die Betrachtung verschiedener Instandhaltungsstrategien unter Berücksichtigung von Abnutzungsvorratskurven fließt daher nicht in das vorliegende Verfahren ein.

3.1.2 Aufbau des Simulationsverfahrens *ESPE-PE*

Auf der Basis des Verfahrens *ESPE* wird nachfolgend das Simulationsverfahren *ESPE-PE* (*ESPE* für die Personalentwicklung) konzipiert. Die wesentliche Erweiterung stellt die Integration des Technologiekalender-Konzeptes in das Verfahren dar. Damit ermöglicht das Verfahren *ESPE-PE* die Synchronisation der Personalentwicklung mit der Erzeugnis- und Fertigungstechnologieentwicklung über mehrere Entwicklungsphasen hinweg. Die Möglichkeiten der Modellierung einer mehrphasigen Erzeugnis- bzw. Technologieentwicklung und deren Auswirkungen auf die Personalentwicklungsplanung sind in den Kapiteln 3.2.1 und 3.2.2 aufgezeigt.

Zur besseren Berücksichtigung personalbezogener Zielsetzungen bei der Personalentwicklungsplanung wird im Verfahren *ESPE-PE* das qualifikatorische Präferenzsystem um die Komponente des Personalentwicklungspotenzials erweitert (vgl. Kap. 3.3.4.3). Dabei wird modellhaft davon ausgegangen, dass – wie auch in der Realität – in einem Fertigungssystem grundsätzlich nicht alle Personaltypen für Maßnahmen der Personalentwicklung geeignet sind und nur diejenigen Personaltypen ausgewählt werden, die sich für eine Erweiterung ihrer Qualifikationen eignen. Eine weitere wichtige Entscheidungsgrundlage bei der Planung der Personalentwicklung sind die damit verbundenen Kosten. Diese Komponente wird nachfolgend in das Verfahren *ESPE-PE* integriert; sie umfasst Personalbeschaffungskosten am externen Arbeitsmarkt, Kosten für die Freistellung von Personal sowie Kosten, die bei der Anpassung der Qualifikation der Personalstruktur, wie z.B. durch betriebliche Weiterbildung sowie Kompensationszahlungen bei einer Qualifikationsvereinfachung, anfallen werden (zur Berechnung der Personalentwicklungskosten vgl. Kap. 3.3.3.2).

Mit der Integration des Technologiekalender-Konzeptes und einer detaillierten Qualifikationsbetrachtung der Personalstruktur kann im Simulationsverfahren *ESPE-PE* das Fertigungssystem für jeden geplanten Zeitpunkt einer Veränderung bei Erzeugnissen und Technologien simuliert werden. Bei der Simulation werden personelle Engpässe protokolliert und in modellierten Planungsszenarien alternative Maßnahmen der Personalentwicklung anhand eines multikriteriellen Zielsystems bewertet. Mit der zusätzlichen Kopplung einer Verbesserungsheuristik zur Anpassung von Personalstrukturen stellt *ESPE-PE* ein wirkungsvolles Planungshilfsmittel für die Personalentwicklung in Fertigungssystemen dar. Auf Basis der Verbesserungsheuristik generiert *ESPE-PE* für jede Planungsphase alternative Personalstrukturen. Welche der Planungsalternativen für nachfolgende Planungsphasen weiter verfolgt werden, hängt insbesondere von der simulationsunterstützten Bewertung der weiteren Entwicklung derartiger Personalentwicklungspfade ab.

3.2 Modellierung des mehrphasigen Entwicklungsprozesses von Fertigungssystemen

Im Rahmen der Personalentwicklungsplanung sind die geplanten Veränderungen des Erzeugnisprogramms sowie die geplante Bereitstellung neuer Fertigungstechnologien extern vorgegebene Einflussgrößen, an die die jeweils vorhandenen Personalstrukturen permanent angepasst werden müssen. Zur Synchronisation der einzelnen Entwicklungsbereiche wird, wie bereits in Kapitel 2.3.4.2 dargestellt, das Technologiekalender-Konzept von WESTKÄMPER (1986) eingesetzt. Die folgenden Kapitel beschreiben den in *ESPE-PE* implementierten Technologiekalender mit seinen Möglichkeiten zur Modellierung von Erzeugnis- und Fertigungstechnologieentwicklungen und den damit verbundenen Einflüssen auf die Personalentwicklungsplanung.

3.2.1 Modellierung der mehrphasigen Erzeugnisentwicklung

3.2.1.1 Quantitative Erzeugnisentwicklung in ESPE-PE

Zur Darstellung der quantitativen Erzeugnisentwicklung dient der Produktlebenszyklus (vgl. z.B. TINBERGEN 1952; SCHÄFER 1953). Dieser berücksichtigt, dass ein Erzeugnis nach dem Serienstart zunächst eine Wachstumsphase durchläuft. Zum Zeitpunkt der Marktsättigung wird das Erzeugnis nicht sofort aus dem Fertigungsprogramm herausgenommen, sondern erst während der Abstiegsphase.

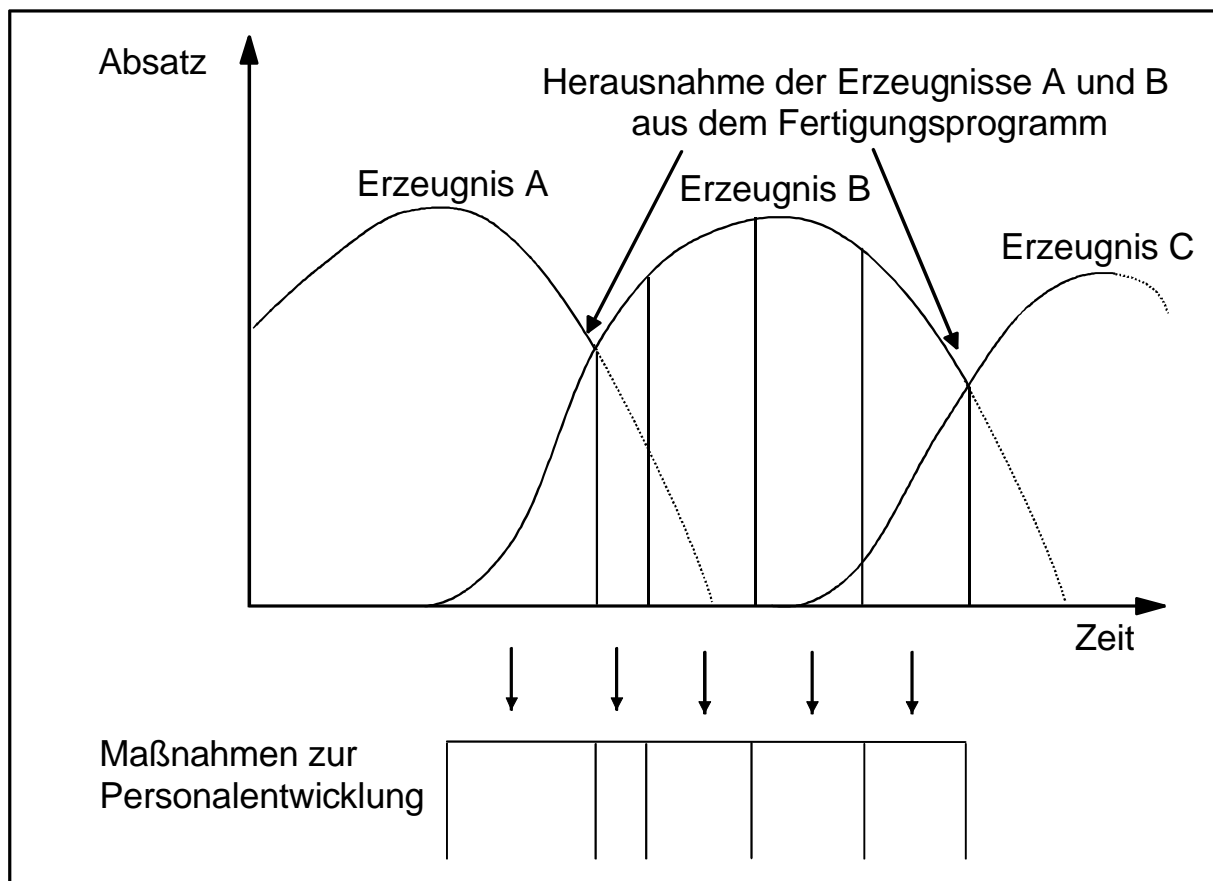


Abb. 3-1: Überlagerung von Erzeugnislebenszyklen

Die Überlagerung dieser Phasen bei mehreren Erzeugnisgenerationen verdeutlicht Abbildung 3-1. Um die quantitative Erzeugnisentwicklung über mehrere Erzeugnislebensphasen hinweg berücksichtigen zu können, wird im Simulationsverfahren *ESPE-PE* der geplante

Zeitpunkt der mengenmäßigen Änderung der einzelnen Erzeugnisse im Technologiekalender eingetragen. Für diesen Zeitpunkt werden die zu produzierenden Fertigungsmengen in der Eingabemaske des Durchlaufplans (vgl. Abb. 3-2) modelliert.

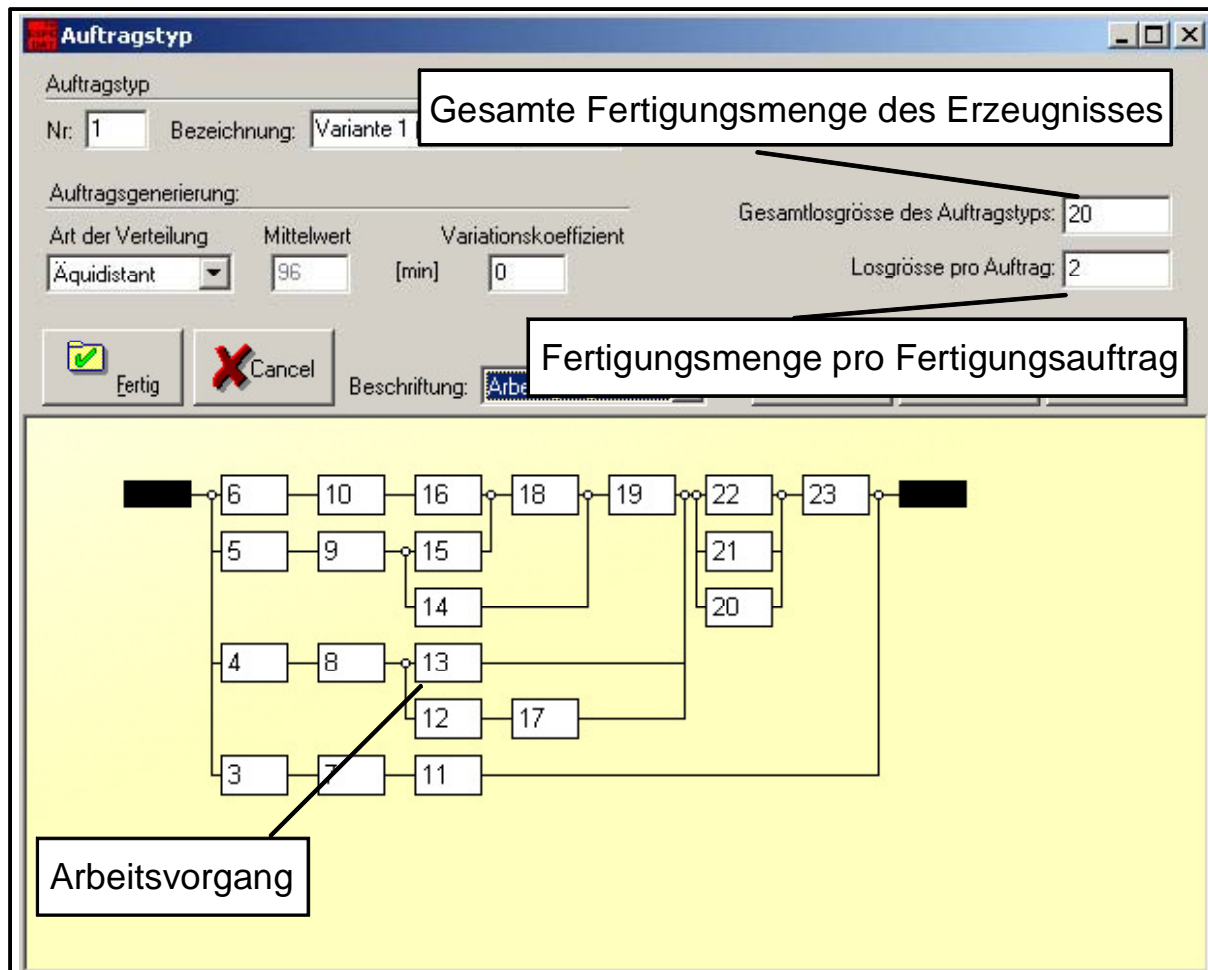


Abb. 3-2: Exemplarische Darstellung eines Durchlaufplanes für einen Auftragstyp im Verfahren *ESPE*

Die zur Fertigung eines Erzeugnisses notwendigen Arbeitsvorgänge werden in Form eines Durchlaufplans dargestellt. Ein Durchlaufplan ist ein gerichteter Graph, der die logische Abfolge von Aktivitäten enthält (BRINKMEIER 1998, S. 57 f.; vgl. auch GROBEL 1992, S. 38 ff.). Jeder Knoten eines Durchlaufplans repräsentiert eine solche Aktivität. Durch die Initialisierung des Durchlaufplanes mit einer Fertigungsmenge und einem Startertermin wird der Durchlaufplan zu einem Auftrag und jede Aktivität zu einem Arbeitsvorgang (zur

Zuordnung von Arbeitsvorgängen zu Fertigungsaufträgen vgl. auch Abb. 3-11). Abbildung 3-2 stellt dazu beispielhaft die in *ESPE* realisierte Abbildung eines Durchlaufplanes dar. Jeder Durchlaufplan enthält einen Start- bzw. Endknoten und kann neben sequenziellen auch parallele Aktivitäten enthalten. Im dargestellten Beispiel repräsentieren die einzelnen Knoten Arbeitsvorgänge, für deren Abarbeitung die Kapazitäten Mensch und Betriebsmittel angefordert werden. Neben der Modellierung der Betriebsmittelrüstzeit und der Betriebsmittelzeit je Einheit ist daher für jeden Knoten auch die Angabe der Rüstzeit und Zeit je Einheit für den Menschen erforderlich (zur Gliederung der Auftrags- bzw. Belegungszeit vgl. REFA 1991b, S. 225 f.).

In der entsprechenden Eingabemaske des Durchlaufplanes ist die gesamte Fertigungsmenge des Erzeugnisses für die zu simulierende Planungsphase anzugeben. Darüber hinaus legt die Fertigungsmenge pro Fertigungsauftrag fest, wie viele Fertigungsaufträge zur Erreichung der gesamten Fertigungsmenge in das Fertigungssystem eingesteuert werden.

3.2.1.2 Qualitative Erzeugnisentwicklung in ESPE-PE

Zu den Zeitpunkten für eine mengenmäßige Veränderung einzelner Erzeugnisse werden im Technologiekalender auch die Starttermine für die Fertigung neuer Erzeugnisse sowie die Herausnahme von Erzeugnissen aus dem Fertigungsprogramm geplant. Für die Fertigung eines neuen Erzeugnisses ist ein entsprechender Durchlaufplan zu modellieren und mit seiner Fertigungsmenge zu initialisieren. Bei der Herausnahme eines Erzeugnisses wird für den dazugehörigen Durchlaufplan die Fertigungsmenge auf den Wert Null gesetzt. Ist mit dem Start der Fertigung eines neuen Erzeugnisses eine neue Fertigungstechnologie verbunden, so muss gleichzeitig die angepasste Betriebsmittelstruktur des Fertigungssystems modelliert werden (vgl. hierzu Kap. 3.2.2 und Kap. 3.2.3).

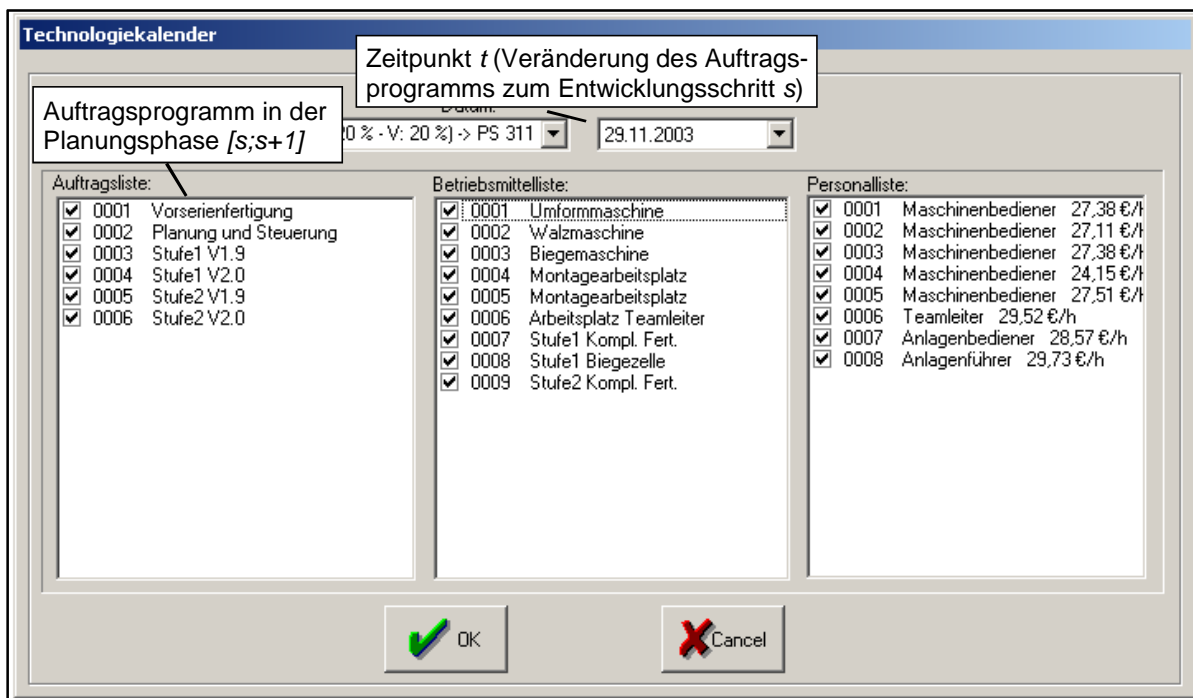


Abb. 3-3: Modellierung der Erzeugnisenwicklung in *ESPE-PE*

3.2.1.3 Auswirkungen der Erzeugnisenwicklung auf die Personalentwicklung

In Abhängigkeit von der quantitativen und qualitativen Erzeugnisenwicklung werden die für das Auftragsprogramm benötigten maschinellen und personellen Ressourcen eines Fertigungssystems unterschiedlich stark belastet. Beispielsweise führt eine Erweiterung des Erzeugnisprogramms oder eine Erhöhung der Fertigungsmenge zu einem steigenden personellen Kapazitätsbedarf. Dies erfordert die Beschaffung von zusätzlichem Personal, um einer Überlastung der Fertigungsmitarbeiter entgegenzuwirken. Ist mit der Erweiterung des Auftragsprogramms der Einsatz zusätzlicher Betriebsmittel geplant, so ist auch hierfür entsprechend qualifiziertes Personal zu beschaffen. Umgekehrt erlaubt ein reduziertes Auftragsprogramm die Freistellung von Personal, um damit die Personaleinsatzkosten zu reduzieren. Hierzu ist anzumerken, dass ein statischer Vergleich des für ein neues Auftragsprogramm benötigten Personalbedarfs mit dem vorhandenen Personalbestand (vgl. hierzu REFA 1991b, S. 381) nicht ausreichend

ist. Vielmehr ist eine simulationsunterstützte Vorgehensweise notwendig, die insbesondere dynamisch auftretende Personalengpässe, die statisch nicht erkannt werden können, identifiziert.

So erlaubt die personalorientierte Simulation des Fertigungssystems eine realistische Abschätzung des erforderlichen quantitativen und insbesondere qualitativen Personalentwicklungsbedarfs. Die Simulation ermöglicht eine dynamische Betrachtung des Zusammenwirkens des für eine Planungsphase gültigen Auftragsprogramms mit den betrieblichen und personellen Ressourcen. Erst anhand einer dynamischen Analyse der erforderlichen und verfügbaren Qualifikationen wird die Identifikation personalbedingter Engpässe möglich, die sich im Ablauf der Fertigung ergeben, und damit die Ermittlung des Qualifizierungsbedarfs vorhandener Personalstrukturen (zur Identifikation personalbedingter Engpässe vgl. Kap. 9.2 im Anhang).

Um ein umfassendes Personalentwicklungskonzept ermitteln zu können, ist darüber hinaus eine Betrachtung der zukünftigen Erzeugnisenentwicklung notwendig. Eine geeignete Planungslösung kann erst unter Berücksichtigung mehrerer Entwicklungsphasen ermittelt werden (zur Vorgehensweise bei der mehrphasigen Personalentwicklungsplanung vgl. Kap. 4.3).

3.2.2 Modellierung der mehrphasigen Fertigungstechnologieentwicklung

Mit der Ausweitung der Fertigungsmenge, aber auch mit der Aufnahme neuer Erzeugnisse in das Auftragsprogramm, wird oftmals die Investition in neue Fertigungstechnologien verknüpft. Die Modellierung neuer Fertigungstechnologien und die damit verbundenen Auswirkungen auf den Fertigungsablauf werden nachfolgend behandelt.

3.2.2.1 *Veränderung von Durchführungszeiten*

Der Einsatz neuer Technologien ermöglicht vielfach eine Reduzierung der Nutzungszeiten von Betriebsmitteln und Tätigkeitszeiten von Personen, was schließlich zu einer Verkürzung der Durchführungszeit

von Fertigungsaufträgen beiträgt. Eine Reduzierung der Nutzungszeiten eines Betriebsmittels wird beispielsweise durch den Einsatz leistungsstärkerer Fertigungstechnologien erreicht, wie z.B. Technologien zur Hochgeschwindigkeitsbearbeitung (High Speed Cutting). Weiterhin trägt die Erhöhung des Automatisierungsgrades dazu bei, Tätigkeitszeiten des Menschen zu reduzieren, beispielsweise durch die Vereinfachung der Arbeitsaufgabe auf Einlegetätigkeiten bei einer automatisierten Fertigung. In diesem Fall kann das Personal zur Bedienung mehrerer Maschinen eingesetzt oder für dispositive Tätigkeiten freigestellt werden.

Ermöglichen neue Fertigungstechnologien eine Reduzierung der Tätigkeitszeiten von Personen gegenüber den Nutzungszeiten von Betriebsmitteln, so eröffnen sich Möglichkeiten für eine Mehrmaschinenbedienung. Die Veränderung von Durchführungszeiten kann entsprechend der in Kapitel 3.2.1.1 dargestellten Modellierung von Arbeitsvorgängen angepasst werden.

3.2.2.2 Reduzierung von Zwischenzeiten

Die technischen Weiterentwicklungen von Werkzeugmaschinen haben auch dazu geführt, dass einzelne Arbeitsvorgänge, die ehemals an verschiedenen Betriebsmitteln durchgeführt wurden, wie z.B. separates Drehen, Bohren und Fräsen eines Arbeitsgegenstandes, an einem Bearbeitungszentrum zusammengefasst werden können, womit die Transport- und Liegezeiten entfallen, die sonst zwischen den Arbeitsvorgängen berücksichtigt werden müssten. Die Reduzierung von Zwischenzeiten durch den Einsatz verbesserter Technologien und die entsprechende Modellierung zeigt beispielhaft Abbildung 3-4.

3.2.2.3 Veränderte Anforderungen an Umfeldaufgaben

Die an den Betriebsmitteln durchzuführenden Umfeldaufgaben beinhalten einerseits Aufgaben, die stochastischen Einflüssen unterworfen sind, wie z.B. Instandhaltungsfunktionen. Andererseits fallen im Zuge der Auftragsbearbeitung Umfeldaufgaben an, für die stochastische Einflüsse nicht relevant sind und die eher von deterministischer Natur

sind. Die Modellierung derartiger Umfeldaufgaben erfolgt in Form von Aktivitäten, die in vorhandene Durchlaufpläne integriert werden können, wie z.B. Aufgaben der Qualitätssicherung als abschließender Arbeitsvorgang eines Fertigungsauftrages.

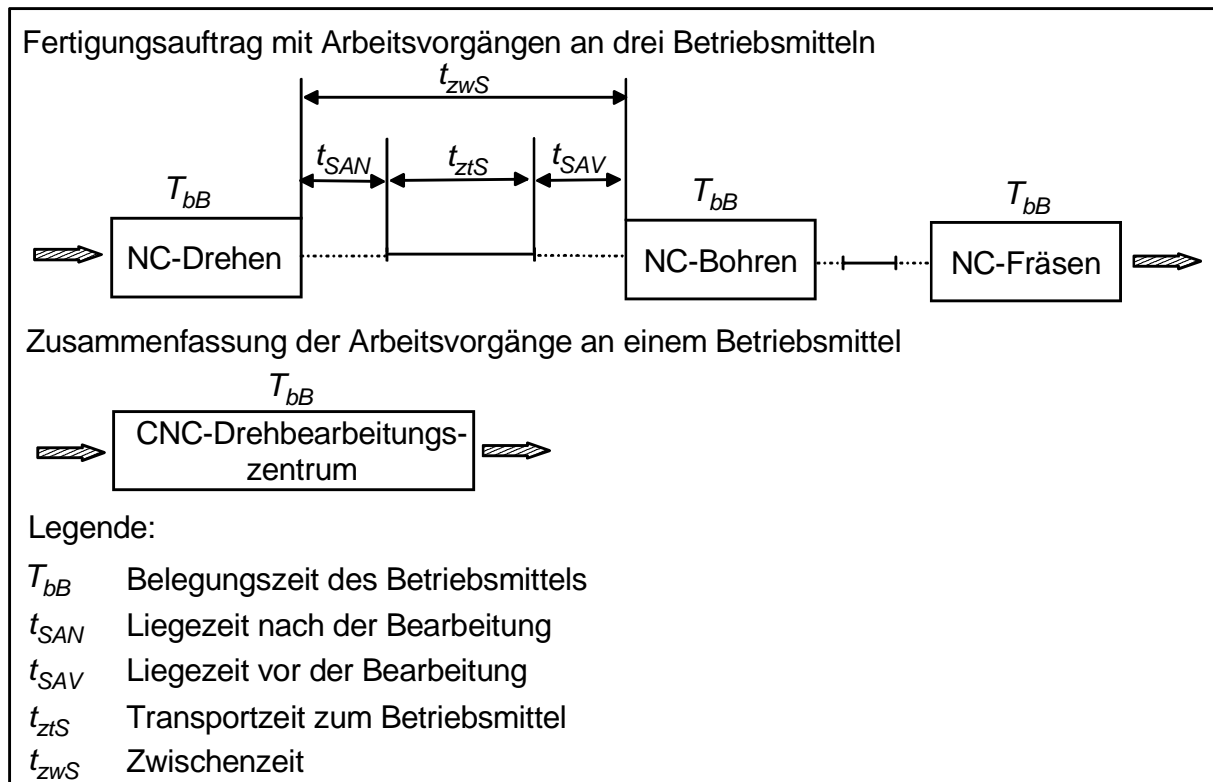


Abb. 3-4: Reduzierung von Zwischenzeiten durch den Einsatz verbesserter Fertigungstechnologien (nach BRINKMEIER 1998, S. 115; ZÜLCH 1996, S. 12-102)

Bei unplanmäßigen (stochastischen) Umfeldaufgaben werden in Simulationsverfahren zur Fertigungssystemplanung üblicherweise deren Eintrittswahrscheinlichkeit und deren wahrscheinliche Dauer angegeben. Insbesondere für Instandhaltungsfunktionen wird die Häufigkeit und Dauer von Instandhaltungsmaßnahmen über die Kennzahlen *MTBF* (mean time between failure) und *MTTR* (mean time to repair) angegeben (vgl. VDI 4004, Blatt 2 und 3, 1986). Zu diesen Kennzahlen lassen sich in Simulationsverfahren geeignete Wahrscheinlichkeitsverteilungen hinterlegen. Weiterführende Arbeiten zur Personalstrukturplanung im Fertigungs- und Instandhaltungs-

bereich berücksichtigen u.a. das Abnutzungsverhalten einzelner Betriebsmittelkomponenten und leisten damit eine noch realistischere Prognose einzelner Instandhaltungsmaßnahmen (VOLLSTEDT 2002, S. 42 ff.). Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird die Verwendung der Kennzahlen *MTBF* und *MTTR* für die Planung des Personalentwicklungsbedarfs jedoch als ausreichend betrachtet.

Abb. 3-5: Modellierung einer Instandhaltungsfunktion in *ESPE*

Bei der Modellierung von Instandhaltungsfunktionen muss darüber hinaus berücksichtigt werden, dass zum Einführungszeitpunkt einer neuen Fertigungstechnologie bzw. eines neuen Betriebsmittels ein relativ hoher Zeitanteil für Instandhaltungsfunktionen zu erwarten ist. Im weiteren Zeitverlauf nimmt der diesbezügliche Zeitanteil jedoch ab und erst gegen Ende der Lebensdauer einer Fertigungstechnologie nehmen die Ausfallwahrscheinlichkeit und damit der Zeitanteil für Instandhaltungsaufgaben aufgrund von Verschleißausfällen wieder zu. Dieser Effekt wird in der so genannten "Badewannenkurve" dargestellt. Die Kurve gibt an, dass insbesondere in frühen Phasen infolge

von Fertigungsfehlern vermehrt Ausfälle einzelner Betriebsmittelkomponenten auftreten (REFA 1991d, S. 73; ADAM 1989, S. 64). Auch tragen Handhabungsfehler in frühen Phasen des Einsatzes neuer Fertigungstechnologien zu einer erhöhten Ausfallwahrscheinlichkeit bei, insbesondere bei mangelnder Qualifizierung des Personals.

Im Rahmen einer mehrphasigen Personalentwicklung ist es, neben der rechtzeitigen Bereitstellung der für neue Technologien erforderlichen Qualifikationen, daher ebenso notwendig, quantitativ und qualitativ ausreichendes Personal einzuplanen, um dem durch Frühausfälle bedingten erhöhten Instandhaltungsaufwand Rechnung zu tragen. In Abbildung 3-5 wird die Modellierung der Eintrittswahrscheinlichkeit und Dauer einer Instandhaltungsfunktion für eine bestimmte Planungsphase dargestellt. In Abhängigkeit von der Lebensphase einer Fertigungstechnologie können diese Kennzahlen variiert und damit der zeitliche Anteil des Bedarfs für Instandhaltungsaufgaben verändert werden. Die jeweils für eine Planungsphase gültigen technischen Randbedingungen eines Fertigungssystems werden in der Spalte "Betriebsmittelliste" im Technologiekalender (vgl. Abb. 3-6) angegeben. Neben der Angabe des Entwicklungsschrittes des Fertigungssystems werden neue Fertigungstechnologien als Betriebsmittel modelliert. Mit der Initialisierung neuer Betriebsmittel wird gleichzeitig die Funktions-Betriebsmittel-Matrix von *ESPE-PE* um die neu hinzukommenden Funktionen bzw. Funktionselemente dieser Betriebsmittel erweitert (zur formalen Darstellung der Funktions-Betriebsmittel-Matrix vgl. Kap. 3.3.1.2).

3.2.2.4 Auswirkungen der Technologieentwicklung auf die Personalentwicklung

Die mit der Einführung einer neuen Technologie verbundenen Auswirkungen auf die vorhandene Personalstruktur reichen von der Erweiterung der Qualifikation bis hin zur Qualifikationsvereinfachung (vgl. auch Kap. 2.2.3.2). Weiterhin muss die Beschaffung von Personal am externen Arbeitsmarkt in Erwägung gezogen werden, ggf. auch die Freistellung von Personal. Dies ist notwendig, wenn die für eine neue Technologie erforderlichen Qualifikationen angesichts

restriktiver Eigenschaften der vorhandenen Personalstruktur nicht durch interne Weiterbildungsmaßnahmen erworben werden können (zur Bewertung des Personalentwicklungspotenzials vgl. Kap. 3.3.4.3), bzw. keine weiteren Einsatzmöglichkeiten bestehen.

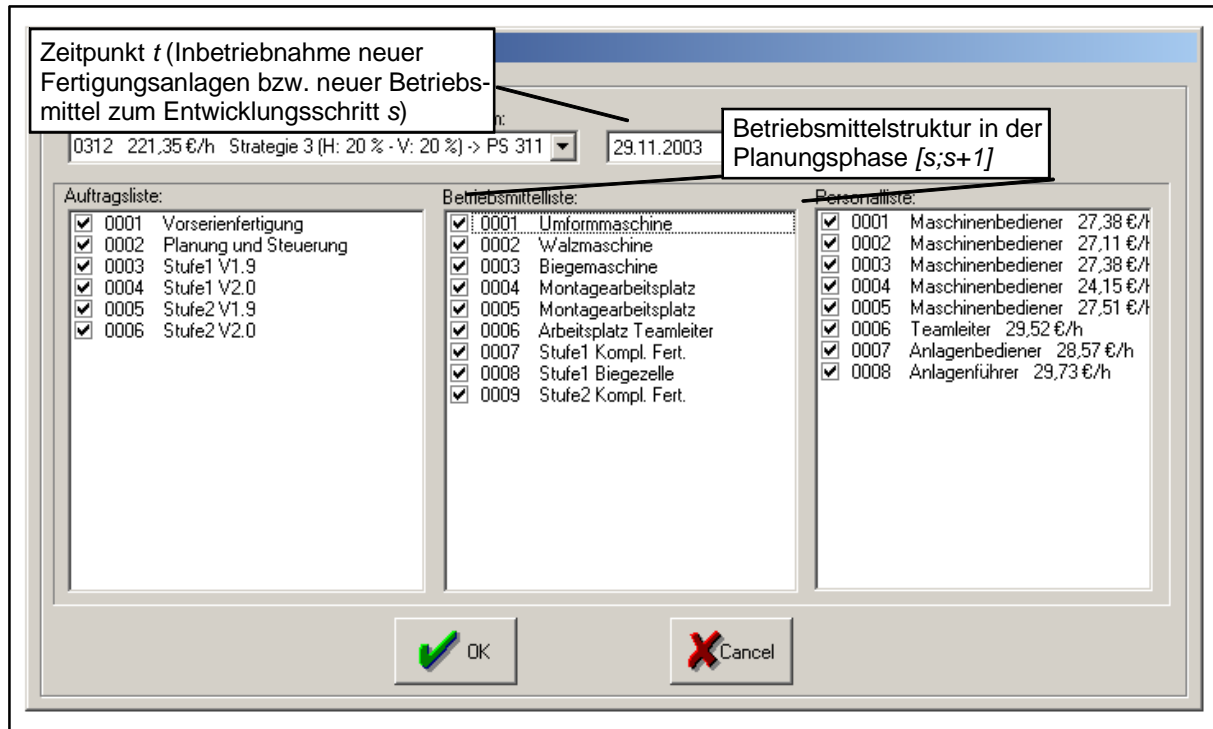


Abb. 3-6: Modellierung der Technologieentwicklung in *ESPE-PE*

3.2.3 Personalentwicklung auf Basis des Technologiekalender-Konzeptes

Zur Synchronisation von Erzeugnis- und Fertigungstechnologieentwicklung mit der Personalentwicklung wird hier das Technologiekalender-Konzept von WESTKÄMPER (1986, S. 148 ff.; vgl. Kap. 2.3.4.2) aufgegriffen und nach entsprechender Modifikation in das Simulationsverfahren *ESPE-PE* integriert. In Anlehnung an BURGSTÄHLER (1997, S. 109; vgl. Kap. 2.3.4.2), der den Technologiekalender in drei zeitlich parallele Sektoren einteilt, wird für die Personalentwicklungsplanung ein weiterer Sektor hinzugefügt (siehe Abb. 3-7).

In den Sektoren "Erzeugnisse" und "Erzeugnistechnologien" wird die quantitative und qualitative Erzeugnissentwicklung modelliert. Hierfür werden die neu zu planenden Erzeugnisse mit ihrem geplanten Fertigungstermin eingetragen. Auch wird für jedes Erzeugnis die für eine Planungsperiode vorgesehene Fertigungsmenge angegeben. Mittels aufeinander folgenden Planungsperioden lassen sich die Lebenszyklen der betrachteten Erzeugnisse modellieren.

Der Sektor "Fertigungstechnologie" stellt die neuen Technologien zum spätesten Zeitpunkt ihrer Serienreife dar. In diesem Sektor steht die zeitliche Abstimmung der fertigungstechnischen Möglichkeiten neuer Technologien mit dem Erzeugnisprogramm im Vordergrund.

Die wesentliche Erweiterung des Technologiekalender-Konzeptes von WESTKÄMPER ist die Integration von Personalentwicklungsfenstern im Sektor "Personalentwicklungsmaßnahmen". In diesem Sektor werden aus den Angaben zur Erzeugnis- und Fertigungstechnologieentwicklung Personalentwicklungsfenster abgeleitet, in denen die erforderlichen Personalentwicklungsmaßnahmen durchgeführt werden müssen, damit die in den Sektoren "Erzeugnisse" und "Erzeugnistechnologien" geplanten Startzeitpunkte eingehalten werden können. Begrenzt werden Personalentwicklungsfenster durch die Zeitpunkte der Anwendungsreife neuer Fertigungstechnologien. Auch die Starttermine der Fertigung sowie eine Veränderung der Fertigungsmenge können, wie in Abbildung 3-7 dargestellt, weitere Personalentwicklungsmaßnahmen erfordern und daher eine zeitliche Begrenzung für Personalentwicklungsfenster darstellen.

Ausgehend von der oberen zeitlichen Eingrenzung eines Personalentwicklungsfensters kann anhand der geplanten Dauer einer Personalentwicklungsmaßnahme die untere zeitliche Begrenzung des Personalentwicklungsfensters bestimmt werden. Da als Planungsgrundlage die Zeitpunkte für Veränderungen bei Erzeugnissen und Technologien zum Beginn der Planung in $t=0$ bereits fest stehen, kann auch schon dieser Zeitpunkt als Starttermin für alle Personalentwicklungsmaßnahmen (vgl. hierzu Abb. 2-2) angegeben werden. Dadurch lassen sich alle Personalentwicklungsmaßnahmen aufeinander abstimmen und ggf. Maßnahmen zusammenfassen.

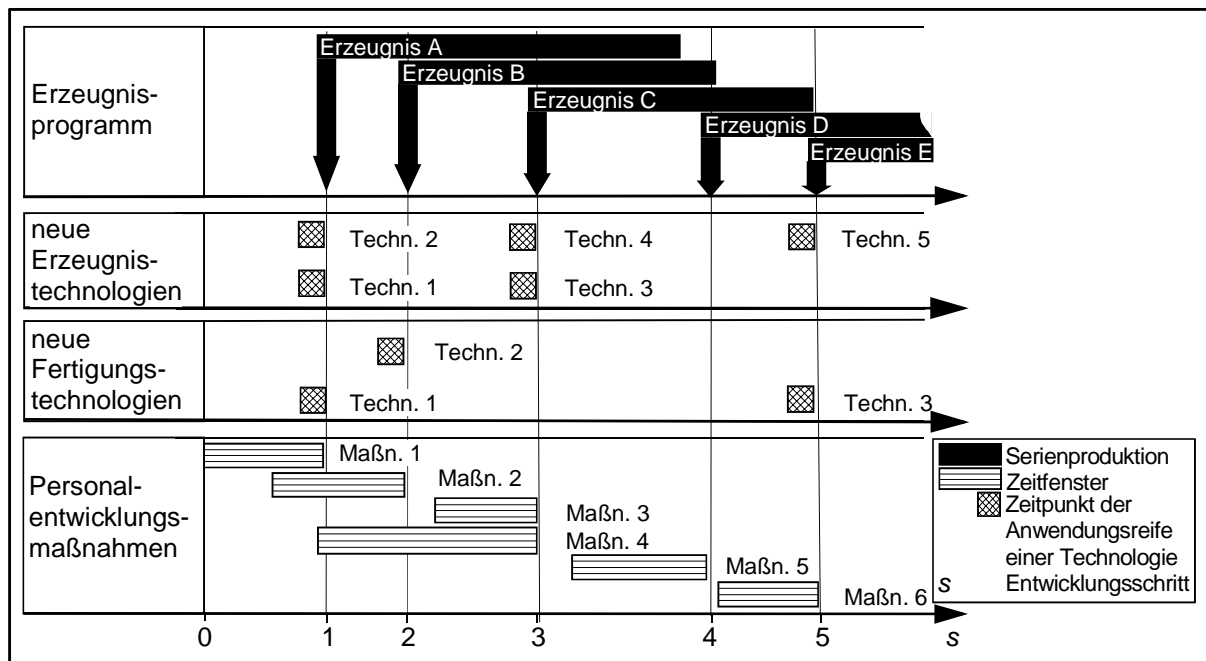


Abb. 3-7: Integration von Personalentwicklungsfenster in dem Technologiekalender

Die zeitliche Synchronisation der Erzeugnis- und Fertigungstechnologieentwicklung mit der Personalentwicklung erfolgt im Simulationsverfahren *ESPE-PE* mittels der in Abbildung 3-8 dargestellten Bildschirmmaske. Unter Angabe des Zeitpunktes einer Veränderung des Fertigungsprogramms werden in der Spalte "Auftragsliste" die in einer Planungsphase zu fertigenden Erzeugnisse als Aufträge modelliert. Für Zeitpunkte, die gleichzeitig einen Entwicklungsschritt des Fertigungssystems markieren, werden in der Spalte "Betriebsmittelliste" die neu hinzukommenden Fertigungstechnologien in Form von Betriebsmitteln zu den bereits vorhandenen Betriebsmitteln des Fertigungssystems hinzugefügt. Die Anpassung der Qualifikationen und der Anzahl der Personalstruktur, die im Hinblick auf die Erzeugnis- und Fertigungstechnologieentwicklung für die jeweils aktuelle Planungsphase vorzunehmen ist, ist das Ergebnis einer Simulationsserie. In der Spalte "Personalliste" sind die Personen einer Personalstruktur mit ihren Qualifikationen in einer Liste zusammengefasst.

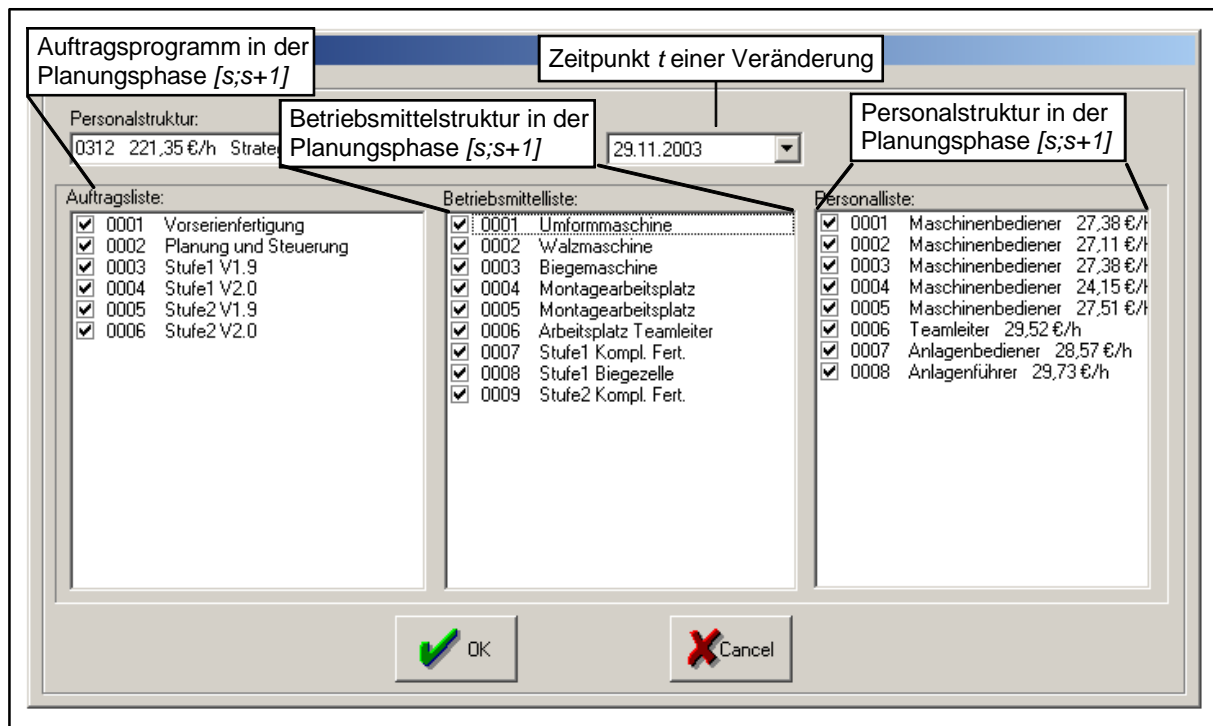


Abb. 3-8: Modellierung des Fertigungsprogramms, der Betriebsmittel- und der Personalstruktur im Technologiekalender von *ESPE-PE*

3.3 Kriterien zur Bewertung von Fertigungssystemen

In den folgenden Abschnitten werden Kriterien zur Bewertung von Fertigungssystemen vorgestellt, die für jeweils eine Planungsphase $[s;s+1]$ mit Hilfe der Simulation ermittelt werden können. Aufgrund der für jeden Zeitpunkt veränderten Randbedingungen ist ein direkter Vergleich von alternativen Planungslösungen nur innerhalb einer bestimmten Planungsphase möglich.

3.3.1 Formale Begriffsdefinitionen zur Personalentwicklungsplanung

Für die in diesem Kapitel aufgeführten Bewertungskriterien werden zunächst einige zentrale Begriffe eingeführt. Die nachfolgend verwendeten Formelzeichen sind in Kapitel 10 zusammengestellt.

3.3.1.1 Personalstrukturen im Fertigungssystem

Für die Personen, die im Rahmen der mehrphasigen Personalentwicklungsplanung über den gesamten Planungshorizont im betrachteten Fertigungssystem zur Verfügung stehen, gilt folgende Indexmenge:

$$P = \{p \in IN / p \leq APE\} \quad \begin{array}{l} \text{Indexmenge und Index für} \\ \text{Personen} \end{array} \quad (3.1)$$

mit: APE Anzahl Personen

Die Indexmenge und Anzahl der Personen, die in der Planungsphase $[s; s+1]$ zur Verfügung stehen, werden wie folgt definiert:

$$P_s = \{p \in P / p \text{ ist } s \text{ zugeordnet}\} \quad \begin{array}{l} \text{Indexmenge und Index für} \\ \text{Personen in der Planungs-} \\ \text{phase } [s; s+1] \end{array} \quad (3.2)$$

$$APE_s = |P_s| \quad \begin{array}{l} \text{Anzahl Personen in der} \\ \text{Planungsphase } [s; s+1] \end{array} \quad (3.3)$$

Ein Personaltyp y umfasst Personen im Fertigungssystem mit gleicher Qualifikation (z.B. Maschinenbediener, Instandhalter) und ist folgendermaßen definiert (zur Definition einer Qualifikation vgl. die Formeln 2.24 bis 2.27):

$$Y = \{y \in IN / y \leq APY\} \quad \begin{array}{l} \text{Indexmenge und Index für} \\ \text{Personaltypen} \end{array} \quad (3.4)$$

mit: APY Anzahl Personaltypen

Entsprechend gilt für Personaltypen in der Planungsphase $[s;s+1]$ die Indexmenge:

$$Y_s = \{y \in Y / y \text{ ist } s \text{ zugeordnet}\} \quad \begin{array}{l} \text{Indexmenge und Index für} \\ \text{Personaltypen in der Pla-} \\ \text{nungsphase } [s;s+1] \end{array} \quad (3.5)$$

Die Zuordnung von Personen p zu einem Personaltyp y lässt sich für die Planungsphase $[s;s+1]$ wie folgt darstellen:

$$P_{sy} = \{p \in P_s / p \text{ ist } y \text{ zugeordnet} \wedge y \in Y_s\} \quad (3.6)$$

Indexmenge für Personen, die dem Personaltyp y in der Planungsphase $[s;s+1]$ zugeordnet sind

Ein Personaltyp y kann im Extremfall nur aus einer Person p bestehen und ist wie folgt definiert:

$$ANP_{sy} = |P_{sy}| \quad \begin{array}{l} \text{Anzahl Personen } p, \text{ die in} \\ \text{der Planungsphase } [s;s+1] \\ \text{dem Personaltyp } y \\ \text{zugeordnet sind} \end{array} \quad (3.7)$$

Angesichts der eindeutigen Zuordnung einer Person p zu einem Personaltyp y lässt sich alternativ die Anzahl Personen eines Fertigungssystems in der Planungsphase $[s;s+1]$ wie folgt berechnen:

$$APE_s = \sum_{y \in Y_s} ANP_{sy} \quad \begin{array}{l} \text{Anzahl Personen in der} \\ \text{Planungsphase } [s;s+1] \end{array} \quad (3.8)$$

Unter dem Begriff Personalstruktur wird die Anzahl Personen in einem Fertigungssystem und deren Qualifikationen zusammengefasst:

$$N = \{n \in \mathbb{N}_0 / n \leq NPS\} \quad \begin{array}{l} \text{Indexmenge und Index für} \\ \text{alternative Personalstruk-} \\ \text{turen} \end{array} \quad (3.9)$$

mit: $n_0, n=0$ Ausgangspersonalstruktur zum Zeitpunkt $t=0$
 NPS Anzahl alternativer Personalstrukturen

$$N_s = \{n \in IN \mid n \text{ ist } s \text{ zugeordnet}\} \quad \text{Indexmenge für alterna- (3.10)} \\ \text{tive Personalstrukturen} \\ \text{in der Planungsphase} \\ [s;s+1]$$

Für die Anzahl alternativer Personalstrukturen im Fertigungssystem in der Planungsphase $[s;s+1]$ gilt:

$$NPS_s = |N_s| \quad \text{Anzahl alternativer Per- (3.11)} \\ \text{sonalstrukturen } n \text{ in der} \\ \text{Planungsphase } [s;s+1]$$

In Analogie zu Formel (3.2) ergibt sich die Menge der Personen, die in der Planungsphase $[s;s+1]$ der Personalstruktur n zugeordnet sind zu:

$$P_{sn} = \{p \in P_s \mid p \text{ ist } n \text{ zugeordnet} \wedge n \in N_s\} \quad (3.12)$$

Indexmenge für Personen, die in der
 Planungsphase $[s;s+1]$ der Personalstruktur n
 zugeordnet sind

3.3.1.2 Qualifikationen im Fertigungssystem

Um den Begriff Qualifikation definieren zu können, ist es zunächst erforderlich, die Betriebsmittel eines Fertigungssystems und die an ihnen auftretenden Funktionen zu beschreiben (vgl. HEITZ 1994, S. 60). In der vorliegenden Arbeit werden unter dem Begriff Betriebsmittel die Maschinen (z.B. Bohrmaschine, Drehbearbeitungszentrum) und (Hand-)Arbeitsplätze (z.B. Werkbank für manuelles Entgraten) zusammengefasst. An den einzelnen Betriebsmitteln werden unterschiedliche Funktionen (z.B. Bearbeitungs- und Instandhaltungsfunktionen) durchgeführt. Wie schon bei der Definition des Begriffs Personalstruktur muss bei der mehrphasigen Betrachtung der Betriebs-

mittel deren technischer Wandel berücksichtigt werden. Für die Betriebsmittel und Funktionen in der Planungsphase $[s;s+1]$ eines Fertigungssystems gelten folgende Indizierungen:

$$B = \{b \in IN / b \leq ABE\} \quad \begin{array}{l} \text{Indexmenge und Index für} \\ \text{Betriebsmittel} \end{array} \quad (3.13)$$

$$B_s = \{b \in B / b \text{ ist } s \text{ zugeordnet}\} \quad \begin{array}{l} \text{Indexmenge für Betriebs-} \\ \text{mittel in der Planungs-} \\ \text{phase } [s;s+1] \end{array} \quad (3.14)$$

mit: ABE Anzahl Betriebsmittel

Alternativ zur Indexmenge für Betriebsmittel B_s wird in den folgenden Ausführungen auch der Begriff Betriebsmittelstruktur in der Planungsphase $[s;s+1]$ verwendet. Für die Anzahl Betriebsmittel b in der Planungsphase $[s;s+1]$ des Fertigungssystems gilt:

$$ABE_s = |B_s| \quad \begin{array}{l} \text{Anzahl Betriebsmittel in} \\ \text{der Planungsphase} \\ [s;s+1] \end{array} \quad (3.15)$$

$$F = \{f \in IN / f \leq AFU\} \quad \begin{array}{l} \text{Indexmenge und Index für} \\ \text{Funktionen} \end{array} \quad (3.16)$$

$$F_s = \{f \in F / f \text{ ist } s \text{ zugeordnet}\} \quad \begin{array}{l} \text{Indexmenge für Funk-} \\ \text{tionen in der Planungs-} \\ \text{phase } [s;s+1] \end{array} \quad (3.17)$$

mit: AFU Anzahl Funktionen

Für die Anzahl Funktionen f in der Planungsphase $[s;s+1]$ gilt:

$$AFU_s = |F_s| \quad \begin{array}{l} \text{Anzahl Funktionen in der} \\ \text{Planungsphase } [s;s+1] \end{array} \quad (3.18)$$

Die Kombination zwischen Betriebsmittel b und Funktion f , die sich in einem Fertigungssystem ergibt, wird als Funktionselement l bezeichnet (zur graphischen Darstellung der Kombinationen vgl. Abb. 3-9):

$$L = \{l \in IN / l \leq AFE\} \quad \text{Indexmenge und Index für Funktionselemente} \quad (3.19)$$

$$L_s = \{l \in L / l \text{ ist } s \text{ zugeordnet}\} \quad \text{Indexmenge für Funktionselemente in der Planungsphase } [s; s+1] \quad (3.20)$$

mit: AFE Anzahl Funktionselemente

Für die Anzahl Funktionselemente l in der Planungsphase $[s; s+1]$ des Fertigungssystems gilt:

$$AFE_s = |L_s| \quad \text{Anzahl Funktionselemente in der Planungsphase } [s; s+1] \quad (3.21)$$

Die im gesamten Planungshorizont vorkommenden Funktionselemente werden in einer Matrix über den Rangplatz von (f, b) mit l indiziert, wobei die Indizierung zeilenweise von links nach rechts erfolgt.

$$l = \text{rng}(f, b) \quad \text{Index der Funktionselemente} \quad (3.22)$$

Für jedes potenzielle Funktionselement l gibt es ein Zuordnungstripel (f, b, z_{sl}) mit z_{sl} als Zuordnungsparameter:

$$z_{sl} = \begin{cases} 1, & \text{falls } l = \text{rng}(f, b) \text{ in der Planungsphase} \\ & [s; s+1] \text{ vorliegt} \\ 0, & \text{falls nicht} \end{cases} \quad (3.23)$$

Zuordnungsparameter des Funktionselements l in der Planungsphase $[s; s+1]$

| | | Betriebsmittel | | | | | |
|-------------------|---------|----------------|---|-----|-----|-----|---------|
| | | B | | | | | |
| | | 1 | 2 | ... | b | ... | ABE_s |
| Funktionen F | 1 | 1 | | | | | |
| | 2 | | | | | | |
| | ... | | | | | | |
| | f | | | | | | |
| | ... | | | | | | |
| | AFU_s | | | | | | |
| | | | | | | | |

Legende:




| | |
|--|--|
|  Funktionselement l ist Person p zum Entwicklungsschritt s zugeordnet ($z_{slp} = 1$) |  Zuordnungsparameter $z_{sl} = 1$ |
|  Zuordnungsparameter $z_{sl} = 0$ | |

Abb. 3-9: Indizierungen der Funktionselemente l in der Funktions-Betriebsmittel-Matrix des Entwicklungsschrittes s des Fertigungssystems

In Anlehnung an Formel (3.20) und unter Verwendung des Zuordnungsparameters z_{sl} kann die Indexmenge L_s auch zur Beschreibung der Qualifikationsstruktur für die Planungsphase $[s; s+1]$ des Fertigungssystems dienen:

$$L_s = \{l \in L / z_{sl} = 1\} \quad \text{Qualifikationsstruktur in der Planungsphase } [s; s+1] \quad (3.24)$$

Soll eine Person p zu einem bestimmten Entwicklungsschritt s die Fähigkeit besitzen, ein bestimmtes Funktionselement l auszuführen, so wird dies über den Parameter z_{slp} beschrieben:

$$z_{spl} = \begin{cases} 1, & \text{falls } l \text{ in der Planungsphase } [s; s+1] \\ & \text{der Person } p \text{ zugeordnet ist} \\ 0, & \text{falls nicht} \end{cases} \quad (3.25)$$

Zuordnungsparameter der Person p zu
Funktionselement l in der Planungsphase
 $[s; s+1]$

Hat der Zuordnungsparameter z_{spl} den Wert 1, so wird das Funktionselement l auch als Qualifikationselement dieser Person p in der Planungsphase $[s; s+1]$ bezeichnet. Insbesondere für Funktionselemente, die im Fertigungssystem häufig angefordert werden, ergibt sich die Notwendigkeit, derartige Funktionselemente mehreren Personen zuzuordnen (zur Mehrfachzuordnung von Funktionselementen l zu Personen p vgl. auch Abb. 3-10 und Tab. 9-1 im Anhang).

Im Zuge der mehrphasigen Personalentwicklung wird sich die Funktions-Betriebsmittel-Matrix in Abhängigkeit von den Entwicklungsschritten s des Fertigungssystems ändern. Abbildung 3-9 zeigt die geplante Zuordnung von Funktionselementen l zu einer Person p für die Planungsphase $[s; s+1]$. Daraus ergibt sich die Qualifikation und damit die Menge der Funktionselemente, die der Person p in der Planungsphase $[s; s+1]$ zugeordnet ist wie folgt:

$$L_{sp} = \{l \in L_s \mid z_{spl} = 1\} \quad \text{Qualifikation der Person } p \text{ in der} \quad (3.26) \\ \text{Planungsphase } [s; s+1]$$

Die in der betrachteten Planungsphase $[s; s+1]$ eines Fertigungssystems aktuellen Funktionselemente, für die eine Personalstruktur qualifiziert sein muss, ist die Menge der Funktionselemente L_s . Die Qualifikationen einer Personalstruktur zu einer bestimmten Planungsphase $[s; s+1]$ ergeben sich demnach als Gesamtheit der Qualifikationen der einzelnen Personen p einer Personalstruktur n :

$$L_{sn} = \sum_{p \in P_{sn}} L_{sp}$$

Qualifikationen der Personalstruktur n in der Planungsphase $[s; s+1]$ (3.27)

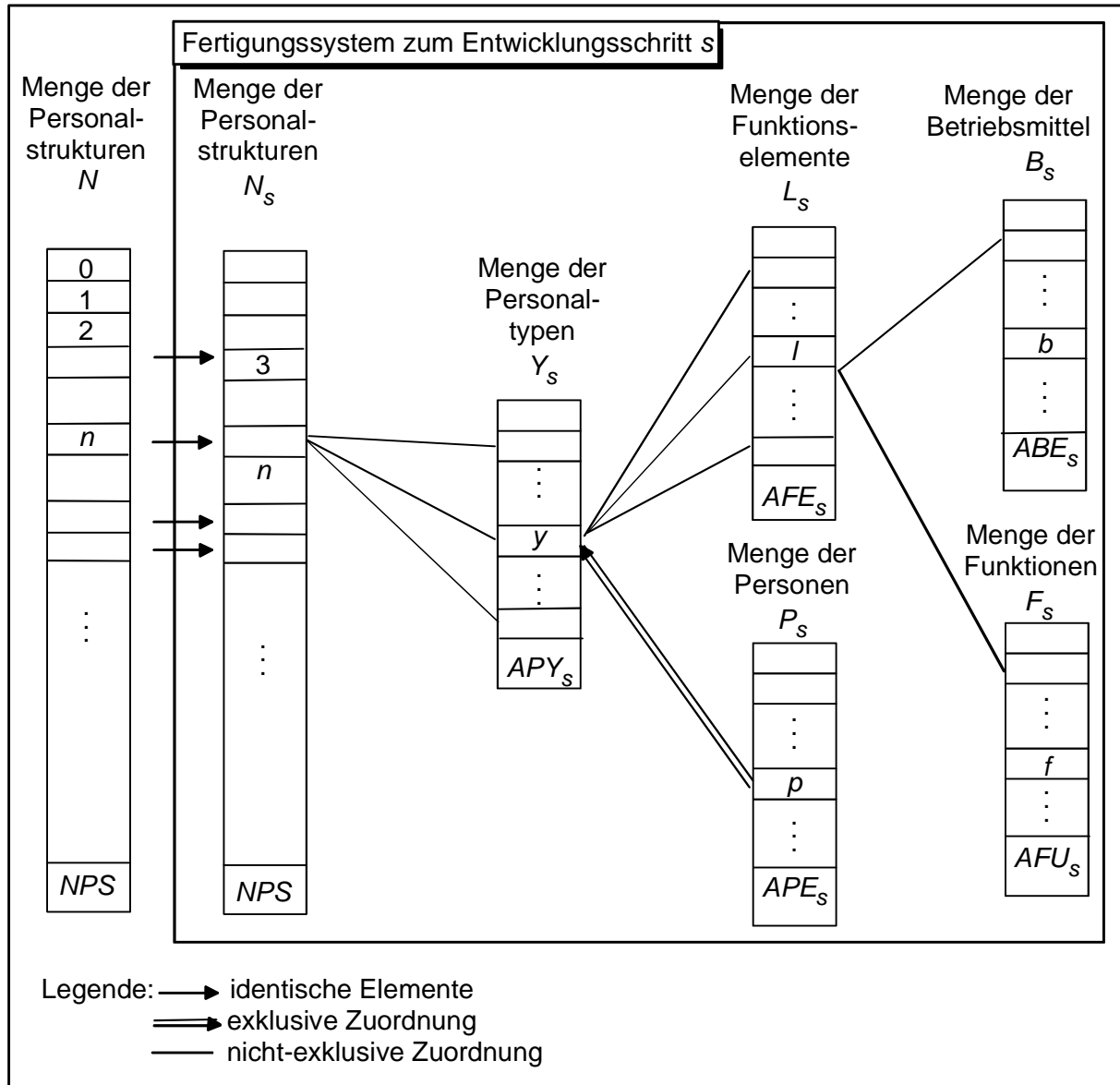


Abb. 3-10: Mengen und Indizierungen im Rahmen der mehrphasigen Personalentwicklung

Zusammenfassend werden die definierten Mengen und Indizierungen in Abbildung 3-10 dargestellt. In der Abbildung ist für die Planungsphase $[s; s+1]$ die Indexmenge N_s dargestellt. Diese Teilmenge bein-

hält die für die Planungsphase $[s;s+1]$ generierten Planungslösungen. Im Gegensatz dazu umfasst die Indexmenge N die Menge aller alternativen Personalstrukturen, die vom Starttermin der Planung in t_0 bis zum Ende des Planungshorizontes t^* generiert werden.

3.3.2 Produktionslogistische Bewertung

Die nachfolgend beschriebenen Zielkriterien beziehen sich jeweils auf eine Planungsphase. Für jede Planungsphase wird für die produktionslogistische Bewertung eine so genannte Einschwingphase zugrunde gelegt. Die Einschwingphase stellt den Zeitraum vom Simulationsbeginn bis zum Erreichen eines quasi eingeschwungenen Systemzustandes dar und wird entsprechend der Vorgehensweise von HEITZ (1994, S. 122 ff.) über die Anzahl Auftragsdurchläufe pro Erzeugnis festgelegt. Als Einschwingphase der Simulation wurde für die in Kapitel 6 dargestellten Anwendungsbeispiele ein vollständiger Auftragsdurchlauf pro Erzeugnis eingestellt (vgl. zur Bestimmung der Einschwingphase HEITZ 1994, S. 122 ff. und HEEL 1999, S. 140).

3.3.2.1 Auswahl der Zielkriterien

Zur produktionslogistischen Bewertung von Fertigungssystemen werden im Folgenden der Durchlaufzeitgrad der Fertigungsaufträge, der Abarbeitungsgrad des eingesteuerten Fertigungsprogramms sowie die Personalauslastung verwendet. Wie schon in vorherigen Arbeiten stehen für die produktionslogistische Bewertung Zielkriterien im Vordergrund, die möglichst unabhängig voneinander sind (vgl. HEITZ 1994, S. 99 ff.; HEEL 1999, S. 64 ff.; VOLLSTEDT 2002, S. 68 ff.). Die Termintreue wird daher aufgrund ihrer Abhängigkeit von der Durchlaufzeit nicht weiter betrachtet (vgl. die mögliche Einbeziehung bei GROBEL 1993, S. 89 f.). Wird nämlich die Termintreue als Terminüberschreitung durch ein direkt von der minimalen Durchlaufzeit eines Auftrages abhängiges Toleranzfeld definiert (vgl. z.B. WEDEMEYER 1989, S. 72 ff.), entwickelt sich diese bei einer Veränderung der Fertigungssituation in die gleiche Richtung wie die

Durchlaufzeit der Aufträge. Weiterhin wird auf die Ermittlung von Auftragsbeständen im Sinne von wartenden Kapazitäten vor einzelnen Betriebsmitteln aus Vereinfachungsgründen verzichtet. Sehr wohl werden derartige Bestände im Rahmen der Simulationsuntersuchungen bei der Ermittlung der Durchlaufzeit eines Auftrages berücksichtigt.

Bei der Auswahl der Zielkriterien ist neben ihrer Unabhängigkeit der direkte Einfluss der Personalentwicklungsplanung auf ihre Ausprägungen relevant. So bleibt das produktionslogistische Kriterium der Betriebsmittelnutzung von der weiteren Bewertung ausgeklammert, da aus diesem Kriterium kein grundsätzlicher Qualifizierungsbedarf für Personalstrukturen abgeleitet werden kann. Um die folgenden produktionslogistischen Zielkriterien definieren zu können, ist es zunächst notwendig, die zugrunde gelegten Mengen und Indizierungen vorzugeben (zur graphischen Veranschaulichung der Indizierungen vgl. auch Abb. 3-10 und 3-11).

3.3.2.2 *Fertigungsaufträge und Arbeitsvorgänge*

Für die im gesamten Planungshorizont eingesteuerten Fertigungsaufträge wird folgende Indexmenge definiert:

$$J = \{j \in IN \mid j \leq AAE\} \quad \text{Indexmenge und Index für Fertigungsaufträge} \quad (3.28)$$

mit: AAE Anzahl bis im Planungshorizont eingesteuerter Fertigungsaufträge

Für die in einer Planungsphase eingesteuerten Fertigungsaufträge gilt:

$$J_s = \{j \in J \mid j \text{ ist in } [s; s+1] \text{ eingesteuert}\} \quad (3.29)$$

Indexmenge für in der Planungsphase $[s; s+1]$ eingesteuerte Fertigungsaufträge

Wie in Abbildung 3-2 dargestellt, wird ein Auftrag als Netzgraph modelliert, wobei jeder Knoten ein Arbeitsvorgang repräsentiert. Sämtliche in den Fertigungsaufträgen vorkommenden Arbeitsvorgänge sind durch die Indexmenge

$$V = \{v \in IN / v \leq AVO\} \quad \text{Indexmenge und Index für Arbeits- (3.30)} \\ \text{vorgänge im Fertigungssystem}$$

mit: AVO Anzahl Arbeitsvorgänge im Fertigungssystem

definiert, woraus sich die Arbeitsvorgänge des Fertigungsauftrages j aus

$$V_j = \{v \in V / v \text{ ist } j \text{ zugeordnet}\} \quad \text{Indexmenge für Arbeits- (3.31)} \\ \text{vorgänge des Fertigungs-} \\ \text{auftrages } j$$

ergeben. Analog zu den Definitionen für Fertigungsaufträge wird die Indexmenge der Arbeitsvorgänge in der Planungsphase $[s; s+1]$ als Teilmenge von V definiert:

$$V_s = \{v \in V / v \text{ ist in } [s; s+1] \text{ eingesteuert}\} \quad (3.32)$$

Indexmenge für Arbeitsvorgänge in der
Planungsphase $[s; s+1]$

Aus V_s ableitbare Teilmengen sind

$$V_{sb} = \{v \in V_s / v \text{ wurde an } b \text{ abgearbeitet}\} \quad (3.33)$$

Indexmenge für am Betriebsmittel b abgearbeitete
Arbeitsvorgänge in der Planungsphase
 $[s; s+1]$

und

$$V_{sp} = \{v \in V_s \mid v \text{ wurde von } p \text{ abgearbeitet}\} \quad (3.34)$$

Indexmenge für von Person p abgearbeitete
Arbeitsvorgänge in der Planungsphase $[s; s+1]$

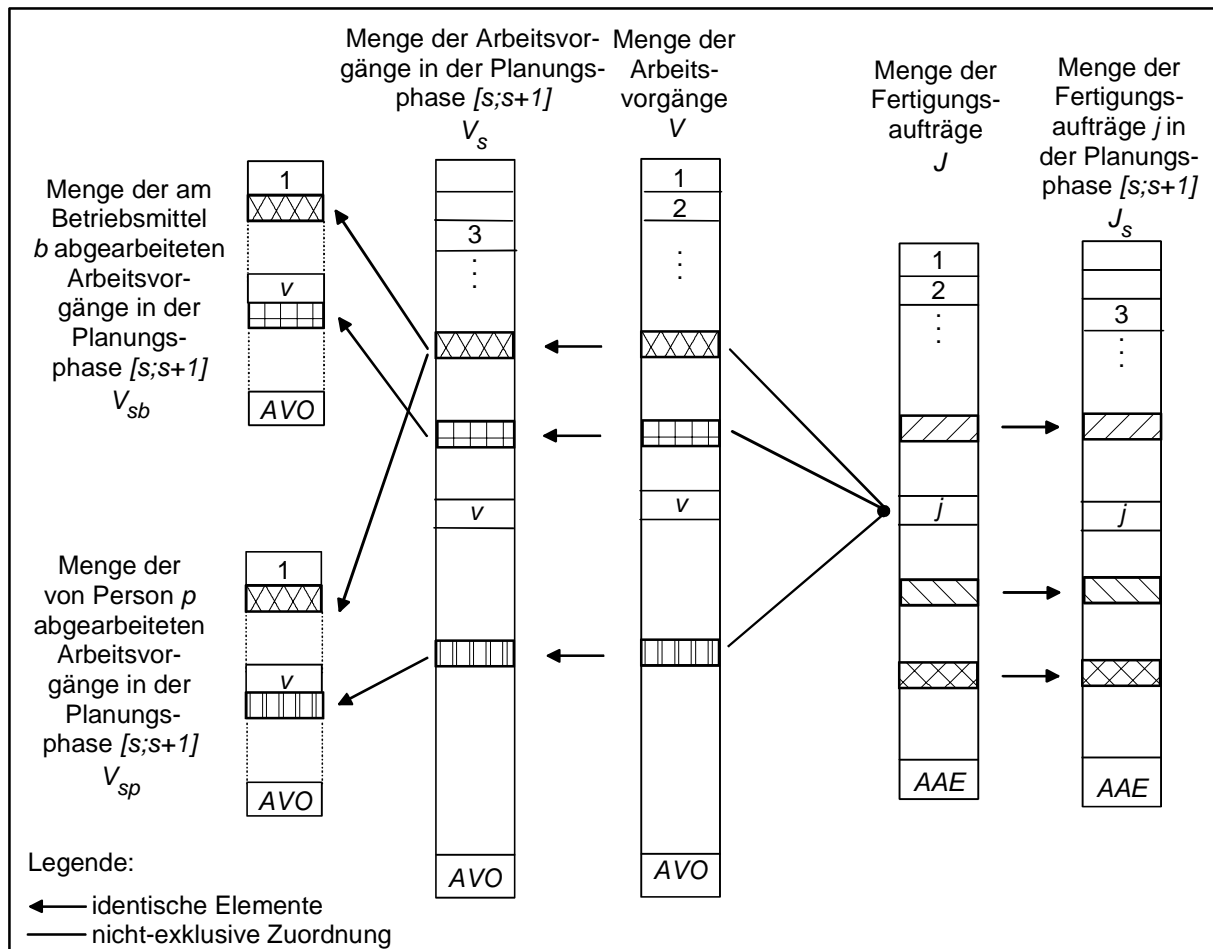


Abb. 3-11: Mengen und Indizierungen für Fertigungsaufträge und Arbeitsvorgänge

Voraussetzung für die Durchführung eines Arbeitsvorganges v ist die entsprechende Qualifikation der durchführenden Person p für das Funktionselement l . Daraus ergibt sich die Indexmenge

$$V_{slp} = \{v \in V_{sp} / v \text{ ist } l \text{ zugeordnet}\} \quad (3.35)$$

Indexmenge für Arbeitsvorgänge des Funktionselementes l , die von Person p in der Planungsphase $[s; s+1]$ abgearbeitet wurden

Falls sich die Abarbeitung von Fertigungsaufträgen aufgrund der Fertigungsmenge über mehrere Planungsphasen erstreckt, so wird bei der Modellierung des Fertigungsprogramms vereinfachend angenommen, dass sich die Fertigungsmenge entsprechend der Anzahl betroffener Planungsphasen aufteilen lässt, um damit eine gleichmäßige Verteilung der Arbeitsinhalte des Fertigungsauftrages über die betroffenen Planungsphasen zu erzielen.

3.3.2.3 Durchlaufzeitgrad

In Analogie zu REFA (1991c, S. 16 ff.), wo T_D als geplante Durchlaufzeit für die Erfüllung eines Auftrages aufgefasst wird, wird zur Beschreibung des Auftragsdurchlaufes durch ein Fertigungssystem die simulierte Durchlaufzeit $T_{D,j}$ herangezogen. $T_{D,j}$ setzt sich aus folgenden Zeitanteilen zusammen:

$$T_{D,j} = \sum_{v \in V_j} t_{dS,j} + \sum_{v \in V_j} t_{zwS,j} + \sum_{v \in V_j} t_{zuS,j} \quad (3.36)$$

(simulierte) Durchlaufzeit des Fertigungsauftrages j

mit: $t_{dS,j}$ (simulierte) Durchführungszeit des Fertigungsauftrages j
 $t_{zwS,j}$ (simulierte) Zwischenzeit des Fertigungsauftrages j
 $t_{zuS,j}$ (simulierte) Zusatzzeit des Fertigungsauftrages j

Nach ZÜLCH (1996, S. 12-102; vgl. hierzu auch Abb. 3-4) kann die simulierte Zwischenzeit $t_{zwS,v}$ weiter untergliedert werden in:

$$t_{zwS,v} = t_{SAN,v} + t_{ztS,v} + t_{SAV,v} \quad (3.37)$$

(simulierte) Zwischenzeit des Arbeitsvorgangs v

mit: $t_{SAN,v}$ (simulierte) Liegezeit nach der Bearbeitung von Arbeitsvorgang v
 $t_{ztS,v}$ (simulierte) Transportzeit von Arbeitsvorgang v zum Betriebsmittel
 $t_{SAV,v}$ (simulierte) Liegezeit vor der Bearbeitung von Arbeitsvorgang v

Bei der (simulativ) ermittelten Durchlaufzeit $T_{D,j}$ muss zwischen Eingabe- und Ergebnisdaten der Simulation unterschieden werden. So sind die Tätigkeits- bzw. Nutzungszeiten der einzelnen Arbeitsvorgänge des Fertigungsauftrages j Eingabedaten der Simulation. Ablaufbedingte Liegezeiten und Zusatzzeiten, wie z.B. störungsbedingte Unterbrechungszeiten bei der Durchführung eines Fertigungsauftrages j , können erst nach Ablauf der Simulation ermittelt werden und sind somit Ergebnisdaten der Simulation (vgl. hierzu VDI 3633, Blatt 6, 2001, S. 14). Der Durchlaufzeitgrad DZG_j eines Fertigungsauftrages j errechnet sich somit als Quotient aus minimal möglicher Durchlaufzeit DLM_j (auf dem kritischen Weg gemäß Durchlaufplan) und (simulativ) ermittelter Durchlaufzeit $T_{D,j}$ (vgl. GRAF 1991, S. 97 f.; sowie GROBEL 1993, S. 88):

$$DZG_j = \frac{DLM_j}{T_{D,j}} \cdot 100 \% \quad \text{Durchlaufzeitgrad des Fertigungsauftrages } j \quad (3.38)$$

mit: DLM_j minimale Durchlaufzeit des Fertigungsauftrages j

Die minimale Durchlaufzeit DLM_j des Fertigungsauftrages j stellt dabei die Summe aller Tätigkeits- bzw. Nutzungszeiten sowie der Transportzeiten der Arbeitsvorgänge v auf dem kritischen Weg des Fertigungsauftrages dar, wobei Liegezeiten hier nicht berücksichtigt

werden. Um die minimale Durchlaufzeit DLM_j des Fertigungsauftrages j bestimmen zu können, wird zunächst die Durchführungszeit (also die minimale Durchlaufzeit) DLM_v des Arbeitsvorganges v bestimmt, wofür eine Engpassbetrachtung der mensch- und betriebsmittelbezogenen Zeitarten notwendig ist (zu mensch- und betriebsmittelbezogenen Zeitarten vgl. REFA 1991b, S. 211 ff.). Dabei gilt unter Berücksichtigung von persönlichen und erholungsbedingten Verteilzeiten für Rüstzeiten:

$$d_{rv} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{(1 + z_{rp,v} + z_{rer,v}) t_{rt,v}}{ZG_p} \cdot 100\%; \\ \frac{(1 + z_{rp,v})(t_{rh,v} + t_{rn,v})}{ZG_b} \cdot 100\% \end{array} \right\} \quad \begin{array}{l} \text{Durchföh-} \\ \text{rungszeit für} \\ \text{das Rüsten bei} \\ \text{Arbeitsvor-} \\ \text{gang } v \end{array} \quad (3.39)$$

| | | |
|------|-------------|---|
| mit: | $t_{rt,v}$ | Tätigkeitszeit des Menschen für Rüsten bei Arbeitsvorgang v |
| | $t_{rh,v}$ | Hauptnutzungszeit für Rüsten bei Arbeitsvorgang v |
| | $t_{rn,v}$ | Nebennutzungszeit für Rüsten bei Arbeitsvorgang v |
| | ZG_p | Zeitgrad der Person p |
| | ZG_b | Zeitgrad des Betriebsmittels b |
| | $z_{rp,v}$ | persönlicher Rüstverteilstzeitprozentssatz bei Arbeitsvorgang v |
| | $z_{rer,v}$ | Zuschlagprozentssatz für Rüsterholungszeit bei Arbeitsvorgang v |

Die Zuschlagprozentssätze sind wie folgt definiert:

$$z_{rp,v} = \frac{t_{rp,v}}{t_{rt,v}} \cdot 100\% \quad \begin{array}{l} \text{persönlicher Rüstverteilstzeitpro-} \\ \text{zentssatz bei Arbeitsvorgang } v \end{array} \quad (3.40)$$

$$z_{rer,v} = \frac{t_{rer,v}}{t_{rt,v}} \cdot 100\% \quad \text{Zuschlagprozentsatz für Rüsterholungszeit bei Arbeitsvorgang } v \quad (3.41)$$

mit: $t_{rp,v}$ persönliche Rüstverteilstzeit bei Arbeitsvorgang v
 $t_{rer,v}$ Rüsterholungszeit bei Arbeitsvorgang v

Für Tätigkeits- bzw. Nutzungszeiten gilt unter Berücksichtigung von persönlichen und erholungsbedingten Verteilzeiten:

$$d_v = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{(1 + z_{p,v} + z_{er,v}) t_{t,v}}{ZG_p} \cdot 100\%; \\ \frac{(1 + z_{p,v})(t_{h,v} + t_{n,v})}{ZG_b} \cdot 100\% \end{array} \right\} \quad \begin{array}{l} \text{Durchführungs-} \\ \text{zeit für das Aus-} \\ \text{führen des} \\ \text{Arbeitsvorganges} \\ v \end{array} \quad (3.42)$$

mit: $t_{t,v}$ Tätigkeitszeit des Menschen für Arbeitsvorgang v
 $t_{h,v}$ Hauptnutzungszeit des Betriebsmittels für Arbeitsvorgang v
 $t_{n,v}$ Nebennutzungszeit des Betriebsmittels für Arbeitsvorgang v
 $z_{p,v}$ persönlicher Verteilzeitprozentsatz bei Arbeitsvorgang v
 $z_{er,v}$ Zuschlagprozentsatz für Erholungszeit bei Arbeitsvorgang v

Aus der Sicht des Betriebsmittels ist das erholungsbedingte Unterbrechen der Nutzung ein planmäßiges Unterbrechen der Nutzung. Aus diesem Grund wird für Haupt- und Nebennutzungszeiten lediglich $z_{p,v}$ berücksichtigt. Für die Zuschlagprozentsätze gilt in Anlehnung an REFA (1997, S. 50 ff.):

$$z_{p,v} = \frac{t_{p,v}}{t_{t,v}} \cdot 100\% \quad \begin{array}{l} \text{persönlicher Verteilzeit-} \\ \text{prozentsatz bei Arbeits-} \\ \text{vorgang } v \end{array} \quad (3.43)$$

$$z_{er,v} = \frac{t_{er,v}}{t_{t,v}} \cdot 100\% \quad \begin{array}{l} \text{Zuschlagprozentsatz für} \\ \text{Erholungszeit bei Arbeits-} \\ \text{vorgang } v \end{array} \quad (3.44)$$

mit: $t_{p,v}$ persönliche Verteilzeit bei Arbeitsvorgang v
 $t_{er,v}$ Erholungszeit bei Arbeitsvorgang v

Sachliche Verteilzeiten t_s werden nach REFA bei den zusätzlichen und störungsbedingten Tätigkeits- bzw. Nutzungszeitarten berücksichtigt und fließen daher bei der Berechnung der Durchführungszeiten nicht ein. Weiterhin werden Liegezeiten vor bzw. nach der Bearbeitung (t_{SAN} und t_{SAV}) nicht angerechnet. Aus den Durchführungszeiten für das Rüsten und Ausführen ergibt sich die minimale Durchlaufzeit des Arbeitsvorganges DLM_v demnach zu:

$$DLM_v = d_{r,v} + m_j \cdot d_v + t_{ztS,v} \quad \begin{array}{l} \text{minimale Durchlaufzeit} \\ \text{des Arbeitsvorganges } v \end{array} \quad (3.45)$$

mit: m_j Menge des Fertigungsauftrages j
 $t_{ztS,v}$ Transportzeit von Arbeitsvorgang v zum Betriebsmittel

Für die Berechnung der minimalen Durchlaufzeit DLM_j des Fertigungsauftrages j werden nur diejenigen Arbeitsvorgänge v berücksichtigt, die auf dem kritischen Weg eines Fertigungsauftrages liegen. Daher sind in Anlehnung an VOLLSTEDT (2002, S. 70) weitere Definitionen notwendig: Da Durchlaufpläne in allgemeiner Form als Netzwerke vorgegeben werden (zur Berechnung des kritischen Weges in zyklensfreien Netzwerken nach dem Verfahren von BELLMANN vgl. beispielsweise NEUMANN, MORLOCK 1993, S. 203 ff.), können in einem Durchlaufplan mehrere Pfade existieren. Dazu wird eine Indexmenge H_j wie folgt definiert:

$$H_j = \{h \in H \mid h \text{ ist } j \text{ zugeordnet}\} \quad \text{Indexmenge und} \quad (3.46)$$

Index für Pfade im
Durchlaufplan für
Auftrag j

Für Arbeitsvorgänge v , die auf dem Pfad h des Durchlaufplans für Auftrag j liegen, gilt die Teilmenge:

$$V_{jh} = \{v \in V \mid v \text{ ist } h \in H_j \text{ zugeordnet}\} \quad \text{Arbeitsvorgänge auf} \quad (3.47)$$

dem Pfad h des
Durchlaufplans für
Auftrag j

Aus der Menge der Arbeitsvorgänge v auf dem Pfad h eines Durchlaufplans ergibt sich die minimale Durchlaufzeit DLM_j als geplante Durchführungszeit auf dem kritischen Pfad wie folgt:

$$DLM_j = \max_{h \in H_j} \left\{ \sum_{v \in V_{jh}} DLM_v \right\} \quad \text{minimale Durch-} \quad (3.48)$$

laufzeit des Ferti-
gungsauftrages j

Zur Berechnung des mittleren Durchlaufzeitgrades, der ein Mittelwert über die Durchlaufzeitgrade aller Fertigungsaufträge j , die in der Planungsphase $[s; s+1]$ eingesteuert und fertiggestellt wurden, darstellt, wird aus der Menge der Fertigungsaufträge J_s die Teilmenge

$$JFE_s = \{j \in J_s \mid j \text{ ist in } [s; s+1] \text{ fertiggestellt worden}\} \quad (3.49)$$

Menge der in der Planungsphase $[s; s+1]$ einge-
steuerten und fertiggestellten Fertigungsaufträge

mit: $|JFE_s|$ Anzahl in der Planungsphase $[s; s+1]$ einge-
steuerter und fertiggestellter Fertigungsaufträge

definiert und daraus der Mittelwert über die Durchlaufzeitgrade aller Fertigungsaufträge berechnet. Bei der Definition von JFE_s wird auf die Aufgliederung des Fertigungsauftrages j in Arbeitsvorgänge v ver-

richtet, da bei der Definition des mittleren Durchlaufzeitgrades nur vollständig abgearbeitete Fertigungsaufträge berücksichtigt werden. Daraus ergibt sich der mittlere Durchlaufzeitgrad DZG_s in der Planungsphase $[s;s+1]$ (vgl. GROBEL 1993, S. 88) zu:

$$DZG_s = \frac{1}{|JFE_s|} \cdot \sum_{j \in JFE_s} DZG_j \cdot 100 \% \quad (3.50)$$

mittlerer Durchlaufzeitgrad der in der Planungsphase $[s;s+1]$ eingesteuerten und fertiggestellten Fertigungsaufträge

3.3.2.4 Abarbeitungsgrad

Der Abarbeitungsgrad AAG_s ist ein weiteres Maß zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit eines Fertigungssystems (vgl. z.B. ZÜLCH 1991, S. 476). Er beschreibt das prozentuale Verhältnis des Arbeitsinhalts der fertiggestellten und teilbearbeiteten Fertigungsaufträge zum gesamten in der Planungsphase $[s;s+1]$ eingesteuerten Arbeitsinhalt aller Fertigungsaufträge. Damit berechnet sich der Abarbeitungsgrad AAG_s wie folgt (vgl. z.B. HEITZ 1994, S. 104):

$$AAG_s = \frac{\sum_{j \in J_s} AIA_j}{\sum_{j \in J_s} AIG_j} \cdot 100 \% \quad \begin{array}{l} \text{Abarbeitungsgrad des Fer-} \\ \text{tigungsprogramms in der} \\ \text{Planungsphase } [s;s+1] \end{array} \quad (3.51)$$

mit: AIA_j abgearbeiteter Arbeitsinhalt des eingesteuerten Fertigungsauftrages
 AIG_j Arbeitsinhalt des Fertigungsauftrages j

Wie bereits bei der Ermittlung der minimalen Durchlaufzeit DLM_j können zur Berechnung des Arbeitsinhalts AIG_j des Fertigungsauftrages j in der Planungsphase $[s;s+1]$ neben den Nutzungszeiten des Betriebsmittels auch die Tätigkeitszeiten des Personals bestimm-

mend sein. Da für die Berechnung des Abarbeitungsgrades lediglich die Quantität der Arbeitsinhalte von Fertigungsaufträgen von Interesse ist, wird auf die Trennung in mensch- und betriebsmittelbezogene Arbeitsinhalte verzichtet. In Anlehnung an die Formeln (3.12) und (3.13) wird vereinfachend für jeden Arbeitsvorgang v eine Engpassbetrachtung der mensch- und betriebsmittelbezogenen Zeitarten vorgenommen, womit der Arbeitsinhalt AIG_j des Fertigungsauftrages j wie folgt berechnet wird:

$$AIG_j = \sum_{v \in V_j} d_{r,v} + m_j \cdot \sum_{v \in V_j} d_v \quad \text{Arbeitsinhalt des Fertigungsauftrages } j \quad (3.52)$$

mit: m_j Menge des Fertigungsauftrages j

3.3.2.5 Personalauslastung

Um die Auslastung von Personen ermitteln zu können, werden die Tätigkeitszeiten aller abgearbeiteten Arbeitsvorgänge sowie Tätigkeitszeiten für stochastische Umfeld- und Instandhaltungsfunktionen berücksichtigt, die im Fertigungssystem in einer Planungsphase anfallen. Die Auslastung der Person p gibt an, wie hoch der simulierte abgearbeitete Arbeitsinhalt SAI_{sp} in der Planungsphase $[s;s+1]$ in Relation zu ihrem theoretischen Kapazitätsbestand $q_{MT,p}$ war. Beispielsweise lassen sich mit der Einführung einer neuen Technologie ggf. Tätigkeitszeiten der Person p , aber auch Anzahl und Art der von dieser Person auszuführenden Arbeitsvorgänge reduzieren. Somit berechnet sich der abgearbeitete Arbeitsinhalt der Person p zu:

$$SAI_{sp} = SAH_{sp} + SAN_{sp} + SAZ_{sp} + SAU_{sp} \quad (3.53)$$

von Person p in der Planungsphase $[s;s+1]$
(simulativ) abgearbeiteter Arbeitsinhalt

Die verschiedenen Arbeitsinhaltskomponenten berechnen sich wie folgt:

$$SAH_{sp} = \sum_{v \in V_{sp}} t_{MH,svp} \quad \text{von Person } p \text{ in der Planungsphase } [s;s+1] \text{ (simulativ) abgearbeiteter Arbeitsinhalt für Haupttätigkeiten} \quad (3.54)$$

$$SAN_{sp} = \sum_{v \in V_{sp}} t_{MN,svp} \quad \text{von Person } p \text{ in der Planungsphase } [s;s+1] \text{ (simulativ) abgearbeiteter Arbeitsinhalt für Nebentätigkeiten} \quad (3.55)$$

$$SAZ_{sp} = \sum_{v \in V_{sp}} t_{MZ,svp} \quad \text{von Person } p \text{ in der Planungsphase } [s;s+1] \text{ (simulativ) abgearbeiteter Arbeitsinhalt für Zusatztätigkeiten} \quad (3.56)$$

- mit:
- SAU_{sp} von Person p in der Planungsphase $[s;s+1]$ (simulativ) abgearbeiteter Arbeitsinhalt für stochastisch verteilte Umfeld- und Instandhaltungsaufgaben
 - $t_{MH,svp}$ Haupttätigkeitszeit der Person p für abgearbeiteten Arbeitsvorgang v in der Planungsphase $[s;s+1]$
 - $t_{MN,svp}$ Nebentätigkeitszeit der Person p für abgearbeiteten Arbeitsvorgang v in der Planungsphase $[s;s+1]$
 - $t_{MZ,svp}$ Zusatztätigkeitszeit der Person p für abgearbeiteten Arbeitsvorgang v in der Planungsphase $[s;s+1]$

Umfeld- und Instandhaltungsaufgaben für die keine planmäßigen Haupt-, Neben- und Zusatztätigkeiten für Arbeitsvorgänge angeben werden können, werden stochastisch in die Simulation eingesteuert (zur Modellierung derartiger Tätigkeitszeiten vgl. Kap. 3.2.2.3). Die zweite für die Berechnung der Personalauslastung notwendige Größe ist der theoretische Kapazitätsbestand. Dieser ist nach REFA (1991b,

S. 251) identisch mit der Arbeitsdauer der Person in der Planungsphase und berechnet sich demnach zu:

$$q_{MT,p} = \frac{ASC_p}{\sum_{i=1} AS_{pi}} \quad \text{theoretischer zeitlicher Kapazitätsbestand der Person } p \quad (3.57)$$

$$Q_{MT,s} = \sum_{p \in P_s} q_{MT,p} \quad \text{theoretischer zeitlicher Kapazitätsbestand des Fertigungssystems in der Planungsphase } [s;s+1] \quad (3.58)$$

mit: AS_{pi} Arbeitsdauer der Person p in Schicht i
 ASC_p Anzahl Schichten der Person p in der Planungsphase $[s;s+1]$

Die Personalauslastung PAU_{sp} der Person p und die mittlere Personalauslastung PAU_s der Personalstruktur in der Planungsphase $[s;s+1]$ berechnen sich demnach zu:

$$PAU_{sp} = \frac{SAI_{sp}}{q_{MT,p}} \cdot 100\% \quad \text{Personalauslastung der Person } p \text{ in der Planungsphase } [s;s+1] \quad (3.59)$$

$$SAI_s = \sum_{p \in P_s} SAI_{sp} \quad \text{von der Personalstruktur in der Planungsphase } [s;s+1] \text{ (simulativ) abgearbeiteter Arbeitsinhalt} \quad (3.60)$$

$$PAU_s = \frac{SAI_s}{Q_{MT,s}} \cdot 100\% \quad \text{mittlere Personalauslastung der Personalstruktur in der Planungsphase } [s;s+1] \quad (3.61)$$

3.3.3 Monetäre Bewertung von Personalstrukturen

3.3.3.1 Berechnung der Personaleinsatzkosten

Als Kennzahl zur Charakterisierung der Wirtschaftlichkeit einer Personalstruktur in der Planungsphase $[s;s+1]$ werden die Personaleinsatzkosten PKE_s des Fertigungssystems herangezogen. Zur Berechnung der Personaleinsatzkosten wird der Zeitlohn als Entlohnungsgrundsatz angenommen (HEITZ 1994, S. 106 f.). Nach REFA (1987, S. 63) ist der Zeitlohn "ein Entlohnungsgrundsatz mit einer festen Vergütung für eine bestimmte Zeiteinheit. Ist diese Zeiteinheit eine Stunde, so wird von Stundenlohn und entsprechend von Zeitlohn oder Gehalt gesprochen." Somit berechnet sich der Personalstundensatz einer Personalstruktur in der Planungsphase $[s;s+1]$ als die Summe der Personalstundensätze der Mitarbeiter:

$$PKO_s = \sum_{p \in P_s} PKO_{sp} \quad \begin{array}{l} \text{Personalstundensatz der Perso-} \\ \text{nalstruktur in der Planungsphase} \\ [s;s+1] \text{ (in GE/h)} \end{array} \quad (3.62)$$

mit: PKO_{sp} Personalstundensatz der Person p in der Planungsphase $[s;s+1]$ (in GE/h)

In der betrieblichen Praxis erfolgt die Lohnfindung auf der Basis von Lohngruppen, die im Tarifvertrag oder auch einzelvertraglich ausgewiesen sind. Im vorliegenden Ansatz wird jedoch vom Konzept der Lohngruppen abgewichen, um sicherzustellen, dass mit jeder Veränderung der Qualifikation einer Person auch eine Veränderung des Personalstundensatzes verbunden ist. Die Berechnung der Personalstundensätze erfolgt in *ESPE* mit Hilfe eines logarithmischen Ansatzes (HEITZ 1994, S. 114 ff.). Dabei wird der Umstand berücksichtigt, dass für jede Person p in Abhängigkeit von den ihr zugeordneten Qualifikationselementen ein Personalstundensatz PKO_{sp} berechnet wird. Ausgangspunkt dieser Berechnung ist der Stundensatz des am höchsten dotierten Funktionselementes l^* , das der Person zum Entwicklungsschritt s zugeordnet wird:

$$l^* \in L_{sp} : SKO_{sl^*p} = \max_{l \in L_{sp}} \{SKO_{sl}\} \quad \text{Funktionselement der Person } p \text{ mit höchstem Stundensatz in der Planungsphase } [s;s+1] \quad (3.63)$$

mit: $l, l^* \in L_{sp}$ Funktionselemente der Person p in der Planungsphase $[s;s+1]$
 SKO_{sl} Stundensatz des Funktionselementes l in der Planungsphase $[s;s+1]$ (in GE)

Die folgende Berechnungsformel geht davon aus, dass mit jeder Qualifikationserweiterung auch eine Erhöhung des Personalstundensatzes PKO_{sp} verbunden ist. Dementsprechend resultiert aus jeder Qualifikationsvereinfachung eine Reduzierung des Personalstundensatzes:

$$PKO_{sp} = \begin{cases} SKO_{sl^*p} & \text{für } AFE_{sp} = 1 \\ SKO_{sl^*p} + u \cdot \ln \frac{\sum_{l \neq l^* \in L_{sp}} SKO_{slp}^2}{(SMN_s - 1)^2} & \text{für } AFE_{sp} > 1 \end{cases} \quad (3.64)$$

Personalstundensatz der Person p in der Planungsphase $[s;s+1]$ (in GE/h)

mit: AFE_{sp} Anzahl Funktionselemente, die der Person p in der Planungsphase $[s;s+1]$ zugeordnet sind
 SMN_s Stundensatz des in der Planungsphase $[s;s+1]$ am niedrigsten dotierten Funktionselementes (in GE/h)
 u Universalistenkonstante (in GE/h; abhängig vom Stundensatz eines Universalisten)

Die Universalistenkonstante u berechnet sich in Abhängigkeit eines vorgegebenen oder vom Planer festzulegenden Stundensatzes eines

Universalisten PKU (zur Bestimmung von u und zur Herleitung des Personalstundensatzes siehe HEITZ 1994, S. 109 ff.):

$$u = \frac{PKU - SKO_{sl^*}}{AFE_s \sum_{l \neq l^*} SKO_{sl}^2} \quad \text{Universalistenkonstante} \quad (3.65)$$

$$\ln \frac{1}{(SMN_s - 1)^2}$$

mit: PKU Universalistenstundensatz (in GE/h)
 SKO_{sl} Stundensatz des Funktionselementes l (in GE/h)
 SKO_{sl^*} Stundensatz des höchstdotierten Funktionselementes l^* (in GE/h)

Aus dem Personalstundensatz der Personalstruktur PKO_s berechnen sich die Personaleinsatzkosten unter Verwendung von Formel (3.57) wie folgt:

$$PKE_s = \sum_{p \in P_s} PKO_{sp} \cdot q_{MT,p} \quad \text{Personaleinsatzkosten der Personalstruktur in der Planungsphase } [s; s+1] \text{ (in GE/h)} \quad (3.66)$$

3.3.3.2 Berechnung der Personalentwicklungskosten

3.3.3.2.1 Überblick

Im Hinblick auf die Vielzahl von Möglichkeiten, Personalstrukturen an die Erfordernisse anzupassen, die sich aus der Erzeugnis- und Fertigungstechnologieentwicklung ergeben, müssen die Kosten der Personalentwicklung in geeigneter Weise modelliert und berechnet werden, um bereits bei der Planung alternative Personalstrukturen nach wirtschaftlichen Kriterien bewerten zu können. Hierfür sind die Personalentwicklungskosten ein wichtiges Entscheidungskriterium bei der Auswahl einer geeigneten Planungslösung aus mehreren Planungsalternativen. In Anlehnung an Abbildung 2-3 wird bei der Berechnung der Personalentwicklungskosten vorrangig danach unterschieden, ob Personal neu beschafft, vorhandenes Personal freigestellt oder vor-

handenes Personal mit entsprechenden Maßnahmen weiterentwickelt wird. Neben Maßnahmen der Qualifikationserweiterung wird auch die Möglichkeit einer Vereinfachung von Qualifikationen des Personals als Kostenfaktor in Betracht gezogen (zur Gliederung der Kostenarten der Personalentwicklung vgl. z.B. SCHOLZ 1994, S. 588 f.).

In Abhängigkeit von den bis zum Entwicklungsschritt s zu realisierenden Personalentwicklungsmaßnahmen werden die Personalentwicklungskosten PEK_{sp} für jede einzelne Person p des Fertigungssystems für ein konkretes Zeitfenster $[s-a;s]$ berechnet (zum Begriff Zeitfenster vgl. Kap. 2.1.1.2). Die Kostenarten setzen sich aus den Komponenten Personalbeschaffungskosten PBK_{sp} , Personalfreistellungskosten PFK_{sp} , Qualifikationsanpassungskosten PQK_{sp} sowie Kosten für Personalbeschaffung und anschließender Qualifikationserweiterung zusammen:

$$PEK_{sp} = \begin{cases} PBK_{sp} & \dots \text{bei Beschaffung} \\ PFK_{sp} & \dots \text{bei Freistellung} \\ PQK_{sp} & \dots \text{bei Qualifikationsanpassung} \\ PBK_{sp} + QEK_{sp} & \dots \text{bei Beschaffung mit} \\ & \text{Qualifikationserweiterung} \\ 0 & \dots \text{sonst} \end{cases} \quad (3.67)$$

Personalentwicklungskosten der Person p im Zeitfenster $[s-a;s]$ (in GE/h)

mit: PBK_{sp} Personalbeschaffungskosten für Person p im Zeitfenster $[s-a;s]$ (in GE/h)
 PFK_{sp} Personalfreistellungskosten für Person p im Zeitfenster $[s-a;s]$ (in GE/h)
 PQK_{sp} Qualifikationsanpassungskosten für Person p im Zeitfenster $[s-a;s]$ (in GE/h)
 QEK_{sp} Kosten für die Qualifikationserweiterung für Person p im Zeitfenster $[s-a;s]$ (in GE/h)

Bei den Personalbeschaffungskosten PBK_{sp} entstehen neben den Ausgaben, die mit der Auswahl und Einstellung geeigneter Mitarbeiter verbunden sind, z.T. beträchtliche Anwerbungskosten, insbesondere bei der Beschaffung am externen Arbeitsmarkt. Auch werden bei der Neueinstellung eines Mitarbeiters Unterweisungen in der Regel notwendig, die Einarbeitungskosten nach sich ziehen. Die Personalbeschaffung auf dem internen Arbeitsmarkt durch Versetzung verursacht keine oder nur geringe Anwerbungskosten. Die Personalfreistellungskosten PFK_{sp} berücksichtigen sämtliche Kostenarten, die mit der Freistellung einer Person p verbunden sind, wie z.B. Abfindungen, die in der Regel je nach Lebensalter, Betriebszugehörigkeit und bisheriger Eingruppierung zu zahlen sind.

Die Qualifikationsanpassungskosten PQK_{sp} für die Person p im Zeitfenster $[s-a;s]$ setzen sich aus den Kosten für die Qualifikationserweiterung bzw. Kosten für die Qualifikationsvereinfachung zusammen und werden in den nachfolgenden Kapiteln beschrieben. Die Personalentwicklungskosten PEK_{sp} der Person p zum Entwicklungsschritt s werden wie folgt zu den Personalentwicklungskosten PEK_{sp} für die Personalstruktur im Fertigungssystem im Zeitfenster $[s-a;s]$ zusammengefasst:

$$PEK_s = \sum_{p \in P_s} PEK_{sp} \quad \begin{array}{l} \text{Personalentwicklungskosten für die} \\ \text{Personalstruktur im Fertigungs-} \\ \text{system im Zeitfenster } [s-a;s] \end{array} \quad (3.68)$$

3.3.3.2.2 Kosten für die Qualifikationserweiterung

Aus der Qualifikationsstruktur L_s zum Entwicklungsschritt s (vgl. Formel 3.24) ergibt sich die Menge der im Zeitfenster $[s-a;s]$ zu qualifizierenden Funktionselemente:

$$MQF_s = L_s \setminus (L_s \cap L_{s-1}) \quad \begin{array}{l} \text{Menge der im Zeitfenster} \\ [s-a;s] \text{ zu qualifizierenden} \\ \text{Funktionselemente} \end{array} \quad (3.69)$$

In Analogie dazu ergibt sich die Menge der im Zeitfenster $[s-a;s]$ zu qualifizierenden Funktionselemente der Person p wie folgt:

$$MQF_{sp} = L_{sp} \setminus (L_{sp} \cap L_{s-1,p}) \quad \text{Menge bei Person } p \text{ im Zeit- (3.70)} \\ \text{fenster } [s-a;s] \text{ zu qualifizie-} \\ \text{renden Funktionselemente}$$

mit: L_{sp} Qualifikation der Person p in der Planungsphase $[s;s-1]$ (Formel 3.26)

Aus den Kosten für die Qualifikationserweiterung für einzelne Funktionselemente ergeben sich die Qualifikationserweiterungskosten QEK_{sp} der Person p zu:

$$QEK_{sp} = \sum_{l \in MQF_{sp}} QEK_l \quad \text{Kosten für die Qualifikations- (3.71)} \\ \text{erweiterung der Person } p \text{ im Zeit-} \\ \text{fenster } [s-a;s] \text{ (in GE/h)}$$

mit: QEK_l Kosten der Qualifikationserweiterung für Funktionselement l

wobei die Annahme zugrunde gelegt wird, dass die Qualifikationserweiterung für das Funktionselement l unabhängig von der bisherigen Qualifikation $L_{s-1,p}$ der Person p zu sehen ist.

3.3.3.2.3 Kosten für die Qualifikationsvereinfachung

Im Gegenzug kann die Qualifikation von Mitarbeitern vereinfacht werden, falls im Rahmen der Weiterentwicklung des Fertigungssystems Anforderungen zur Ausführung bestimmter Funktionselemente entfallen. Die Vereinfachung der Qualifikation bewirkt eine Reduzierung der Personaleinsatzkosten anhand der in Formel (3.64) dargestellten Berechnungsvorschrift, darüber hinaus können auch Qualifikationsvereinfachungskosten QVK_{sp} anfallen, beispielsweise durch eine einmalige oder periodische, u.U. degressive Ausgleichszahlung. Um zumindest eine Abschätzung der zu erwartenden Kosten für eine Qualifikationsvereinfachung vorzunehmen, lassen sich in *ESPE-PE* für jedes einzelne Funktionselement l Kosten der Qualifikationsvereinfachung angeben. In Analogie zu Formel (3.70) wird die Menge der Funktionselemente, die zu entziehen sind, wie folgt angegeben:

$$MVF_{sp} = L_{s-1,p} \setminus (L_{s-1,p} \cap L_{sp}) \quad \begin{array}{l} \text{Menge bei Person } p \text{ im} \\ \text{Zeitfenster } [s-a;s] \text{ zu ent-} \\ \text{ziehenden Funktionsele-} \\ \text{mente} \end{array} \quad (3.72)$$

Anhand dieser Menge werden die Kosten der Qualifikationsvereinfachung der Person p wie folgt berechnet:

$$QVK_{sp} = \sum_{l \in MVF_{sp}} QVK_l \quad \begin{array}{l} \text{Kosten der Qualifikationsver-} \\ \text{einfachung der Person } p \text{ im} \\ \text{Zeitfenster } [s-a;s] \text{ (in GE/h)} \end{array} \quad (3.73)$$

mit: QVK_l Kosten der Qualifikationsvereinfachung für Funktionselement l

wobei auch hier die Annahme zugrunde gelegt wird, dass die Qualifikationsvereinfachung für das Funktionselement l unabhängig von der bisherigen Qualifikation $L_{s-1,p}$ der Person p zu sehen ist. Damit ergeben sich die Qualifikationsanpassungskosten PQK_{sp} für die Person p im Zeitfenster $[s-a;s]$ zu:

$$PQK_{sp} = QEK_{sp} + QVK_{sp} \quad \begin{array}{l} \text{Qualifikationsanpassungs-} \\ \text{kosten der Person } p \text{ im Zeit-} \\ \text{fenster } [s-a;s] \text{ (in GE/h)} \end{array} \quad (3.74)$$

3.3.4 Bewertung personalbezogener Zielsetzungen

3.3.4.1 Bekannte Bewertungskriterien

Bei der Anpassung von Personalstrukturen an eine veränderte Fertigungssituation sollten neben den produktionslogistischen und monetären Zielsetzungen auch Ziele im Sinne einer verbesserten Arbeitsgestaltung verfolgt werden. Die Diskussion über neue Formen der Arbeitsgestaltung geht von der Grundannahme aus, dass erst mit der Berücksichtigung personalbezogener Aspekte positive Effekte auf die

Arbeitsmotivation und damit auf eine erfolgreiche Aufgabendurchführung zu erzielen sind (ULICH 1998, S. 38 ff.; vgl. auch Kap. 2.2.1).

Um die Erreichung personalbezogener Zielsetzungen mit Hilfe der personalorientierten Simulation bewerten zu können, wurden von HEEL (1999, S. 82 ff.) bereits die Kennzahlen "Erfüllungsgrad der Ausführungspräferenzen" und "Variationskoeffizient der Personalauslastung" definiert. Der "Erfüllungsgrad der Ausführungspräferenzen" stellt ein Maß für die Verwirklichung eines neigungsgerechten Personaleinsatzes dar. Dieser Bewertungsansatz geht davon aus, dass Mitarbeiter je nach ihren individuellen Ansprüchen bestimmte Funktionselemente (z.B. vorbeugende Instandhaltung von Drehmaschinen eines bestimmten Typs) im Fertigungssystem bevorzugt ausführen wollen. Im Rahmen der von HEEL (1999, S. 135 ff.) durchgeführten Simulationsstudien konnte gezeigt werden, dass der "Erfüllungsgrad der Ausführungspräferenzen" bei der Planung des kurzfristigen Personaleinsatzes durch geeignete Regeln zur Zuordnung von Personen zu Funktionselementen positiv beeinflusst werden kann.

Der "Variationskoeffizient der Personalauslastung" dient als Maß für die Gleichmäßigkeit der Auslastung einer Personalstruktur, wobei ein Wert nahe Null darauf hindeutet, dass die (simulativ) eingesetzten Personen gleichmäßig ausgelastet sind. Ausgehend vom Mittelwert der Personalauslastung in einer Personalstruktur relativiert der Variationskoeffizient die Standardabweichung der individuellen Personalauslastungen (HEEL 1999, S. 86).

Weitere personalbezogene Kennzahlen, wie z.B. Ermüdungs- und Zeitstressgrad, finden sich bei BOGUS (2002, S. 202 ff.). Hierbei ist anzumerken, dass bezüglich der Definition und Umsetzung personalbezogener Kennzahlen in der Simulation noch ein Forschungsbedarf besteht (ZÜLCH, ROTTINGER, VOLLSTEDT 2000, S. 310). In den folgenden Kapiteln werden weitere Kennzahlen definiert, die es ermöglichen, mit Hilfe des Verfahrens *ESPE-PE* Maßnahmen der Personalentwicklung hinsichtlich personalbezogener Zielsetzungen zu bewerten.

3.3.4.2 Sequenzielle Vollständigkeit von Arbeitsaufgaben

Eine personalbezogene Zielsetzung bei der Personalentwicklungsplanung besteht darin, Fertigungsmitarbeiter die Durchführung vollständiger Arbeitsaufgaben zu ermöglichen (zur Vollständigkeit von Arbeitsaufgaben vgl. Kapitel 2.2.3.1). Für die folgenden Definitionen wird mit dem Begriff Arbeitsaufgabe eine Anzahl verschiedener oder gleichartiger Arbeitsvorgänge v verbunden. Voraussetzung für die Durchführung einer Arbeitsaufgabe sind die entsprechenden Qualifikationen, die für die Abarbeitung der Arbeitsvorgänge erforderlich sind. Mit der Betrachtung der abgearbeiteten Arbeitsinhalte wird somit nicht der Frage nachgegangen, inwieweit einer Person vollständige Arbeitsaufgaben zugeordnet sind, sondern vielmehr, in welchem Maße sie diese Aufgaben auch ausführt.

Nach HACKER (1987, S. 43) können Arbeitsaufgaben sowohl in hierarchischer als auch in sequenzieller Hinsicht vollständig sein. Die hierarchische Vollständigkeit setzt Arbeitsaufgaben voraus, die Anforderungen an verschiedene Ebenen der Tätigkeitsregulation stellen, wie z.B. der Wechsel zwischen Routineaufgaben und Aufgaben mit hohen intellektuellen Anforderungen. Da im Rahmen der vorliegenden Arbeit die Ermittlung des Qualifizierungsbedarfs für konkrete Funktionen bzw. Funktionselemente im Vordergrund steht, werden die verschiedenen Ebenen der Tätigkeitsregulation nicht weiter betrachtet. Für die folgenden Ausführungen wird die Vollständigkeit von Arbeitsaufgaben vielmehr in sequenzieller Hinsicht verstanden; dies bedeutet, dass neben den eigentlichen Ausführungsfunktionen auch das selbstständige Vorbereiten, Kontrollieren und Organisieren von Arbeitsaufgaben ermöglicht werden soll (HACKER 1987, S. 43).

Um diese Zielsetzung im Simulationsverfahren *ESPE-PE* zu berücksichtigen, werden nachfolgend vier Klassen von Funktionen unterschieden, die sich formal wie folgt darstellen lassen:

$$k \in K = \{1,2,3,4\} \quad \text{Indexmenge und Index für} \quad (3.75) \\ \text{Funktionsklassen}$$

| | | |
|------|-------|-----------------------------|
| mit: | $k=1$ | ... Bearbeitungsfunktion |
| | $k=2$ | ... Rüstfunktion |
| | $k=3$ | ... Umfeldfunktion |
| | $k=4$ | ... Instandhaltungsfunktion |

Die erste Funktionsklasse umfasst Bearbeitungsfunktionen. Arbeitsaufgaben, die nur Bearbeitungsfunktionen beinhalten, sind im Sinne der Definition der sequenziellen Vollständigkeit unvollständige Arbeitsaufgaben. Wenn diese Bearbeitungsfunktionen mit qualitativ anderen Funktionsklassen angereichert werden, wächst die Vollständigkeit der Arbeitsaufgabe. Die zweite Funktionsklasse umfasst Rüstfunktionen, die zu den vorbereitenden Funktionen einer Arbeitsaufgabe zählen. Bei der dritten und vierten Klasse handelt es sich um Funktionen, die in letzter Zeit verstärkt in den Fertigungsbereich reintegriert wurden. So beinhaltet die dritte Klasse Umfeldfunktionen, z.B. zur Qualitätssicherung sowie dispositive und steuernde Tätigkeiten. Die vierte Funktionsklasse beinhaltet Instandhaltungsfunktionen, die zeit- oder zustandsbezogen an den Betriebsmitteln durchzuführen sind. Können einem Mitarbeiter alle Funktionselemente zugeordnet werden, die im Sinne einer sequenziell vollständigen Arbeitsaufgabe zusammenzufassen sind, so sind Möglichkeiten für ein eigenständiges Zielsetzen und Entscheiden sowie für das Entwickeln individueller Handlungsweisen gegeben (HACKER 1987, S. 43; ZÜLCH, ROTTINGER, VOLLSTEDT 2000, S. 310).

Um bei der Personalentwicklungsplanung das Prinzip der sequenziellen Vollständigkeit zu berücksichtigen, wird bei einer Qualifikationserweiterung die Person p dann für ein neu hinzukommendes Funktionselement l bevorzugt qualifiziert, wenn damit die Arbeitsaufgabe zusammen mit den bereits ausgeführten Funktionselementen vervollständigt werden kann (zur zielgerichteten Qualifikationserweiterung vgl. auch Kap. 4.2.2).

Um quantifizieren zu können, ob Fertigungsmitarbeiter nach dem Prinzip der sequenziellen Vollständigkeit eingesetzt werden, ist für jede Planungsphase $[s; s+1]$, für jede Person p und für jede Funktionsklasse k der simulierte abgearbeitete Arbeitsinhalt SAI_{skp} zu ermitteln. Ist dieser für alle Funktionsklassen k auf alle Personen p annähernd

gleichmäßig verteilt, so ist dies ein Indiz dafür, dass den Personen im Rahmen der durch das eingesteuerte Fertigungsprogramm gegebenen Möglichkeiten sequenziell vollständige Arbeitsaufgaben zugeordnet wurden. Anhand der eindeutigen Zuordnung der Funktionselemente l zu jeweils einer Funktionsklasse k

$$L_k = \{l \in L / l \text{ ist } k \text{ zugeordnet}\} \quad \begin{array}{l} \text{Funktionselemente der} \\ \text{Funktionsklasse } k \end{array} \quad (3.76)$$

mit:

$$\bigcup_{k \in K} L_k = L, \quad \bigcap_{k \in K} L_k = \emptyset \quad \begin{array}{l} \text{Eindeutigkeit der Zuord-} \\ \text{nung} \end{array} \quad (3.77)$$

berechnen sich die abgearbeiteten Arbeitsinhalte der einzelnen Funktionselemente l in Anlehnung an die Formeln (3.53) bis (3.56) zu:

$$SAI_{slp} = \begin{cases} SAH_{slp} + SAN_{slp} + SAZ_{slp} & \text{für } l \in L_1 \cup L_2 \\ SAU_{slp} & \text{für } l \in L_3 \cup L_4 \end{cases} \quad (3.78)$$

von Person p in der Planungsphase $[s; s+1]$
(simulativ) abgearbeiteter Arbeitsinhalt für
Funktionselement l

mit: SAU_{slp} von Person p in der Planungsphase $[s; s+1]$
(simulativ) abgearbeiteter Arbeitsinhalt für
Funktionselement $l \in L_3 \cup L_4$

Entsprechend ergibt sich der abgearbeitete Arbeitsinhalt des Funktionselementes l für eine Personalstruktur zu:

$$SAI_{sl} = \sum_{p \in P_S} SAI_{slp} \quad \begin{array}{l} \text{von der Personalstruktur in der} \\ \text{Planungsphase } [s; s+1] \text{ (simu-} \\ \text{lativ) abgearbeiteter Arbeitsinhalt} \\ \text{für Funktionselement } l \end{array} \quad (3.79)$$

Aus der Indexmenge

$$V_{slp} = \{v \in V_{sp} / v \text{ ist } l \text{ zugeordnet}\} \quad (3.80)$$

Indexmenge für Arbeitsvorgänge des Funktionselementes l , die von Person p in der Planungsphase $[s; s+1]$ abgearbeitet wurden

berechnen sich die abgearbeiteten Arbeitsinhalte für die Funktionselemente $l \in L_1 \cup L_2$ wie folgt:

$$SAH_{slp} = \sum_{v \in V_{slp}} t_{MH,svp} \quad \begin{array}{l} \text{von Person } p \text{ in der Planungs-} \\ \text{phase } [s; s+1] \text{ (simulativ) abge-} \\ \text{arbeiteter Arbeitsinhalt für Haupt-} \\ \text{tätigkeiten des Funktions-} \\ \text{elementes } l \end{array} \quad (3.81)$$

$$SAN_{slp} = \sum_{v \in V_{slp}} t_{MN,svp} \quad \begin{array}{l} \text{von Person } p \text{ in der Planungs-} \\ \text{phase } [s; s+1] \text{ (simulativ) abge-} \\ \text{arbeiteter Arbeitsinhalt für} \\ \text{Nebentätigkeiten des Funktions-} \\ \text{elementes } l \end{array} \quad (3.82)$$

$$SAZ_{slp} = \sum_{v \in V_{slp}} t_{MZ,svp} \quad \begin{array}{l} \text{von Person } p \text{ in der Planungs-} \\ \text{phase } [s; s+1] \text{ (simulativ) abge-} \\ \text{arbeiteter Arbeitsinhalt für} \\ \text{Zusatztätigkeiten des Funktions-} \\ \text{elementes } l \end{array} \quad (3.83)$$

Somit gilt für die abgearbeiteten Arbeitsinhalte der Funktionsklasse k :

$$SAI_{skp} = \begin{cases} \sum_{l \in L_k} SAH_{slp} + SAN_{slp} + SAZ_{slp} & \text{für } k \in \{1,2\} \\ \sum_{l \in L_k} SAU_{slp} & \text{für } k \in \{3,4\} \end{cases} \quad (3.84)$$

von Person p in der Planungsphase $[s;s+1]$
(simulativ) abgearbeiteter Arbeitsinhalt für
Funktionsklasse k

Daraus ergibt sich der simulierte abgearbeitete Arbeitsinhalt für die
Funktionsklasse k der Personalstruktur wie folgt:

$$SAI_{sk} = \sum_{p \in P_s} SAI_{skp}$$

von der Personalstruktur in der (3.85)
Planungsphase $[s;s+1]$
(simulativ) abgearbeiteter
Arbeitsinhalt für Funktions-
klasse k

Als Maß für die sequenzielle Vollständigkeit von Arbeitsaufgaben
wird der Variationskoeffizient VSV_s der abgearbeiteten Arbeitsinhalte
in der Planungsphase $[s;s+1]$ definiert (zur Berechnung des
Variationskoeffizienten vgl. z.B. BAMBERG, BAUER 1998, S. 21
ff.). Grundlage für die Ermittlung des Variationskoeffizienten ist
wiederum die Berechnung der simulierten abgearbeiteten Arbeits-
inhalte SAI_{skp} der Person p für jede der vier Funktionsklassen k in der
jeweiligen Planungsphase $[s;s+1]$. Damit lassen sich die Abwei-
chungen der simulierten abgearbeiteten Arbeitsinhalte der Person p
von dem (simulierten) mittleren abgearbeiteten Arbeitsinhalt MAI_{sk}
der Personalstruktur ermitteln. Hiervon ausgehend relativiert der
Variationskoeffizient für jede Funktionsklasse k die Standardabwei-
chung am Mittelwert:

$$MAI_{sk} = \frac{SAI_{sk}}{APE_s}$$

Mittelwert der abgear- (3.86)
beiteten Arbeitsinhalte
für Funktionsklasse k in
der Planungsphase
 $[s;s+1]$

mit: APE_s Anzahl Personen in der Planungsphase $[s;s+1]$

$$VAR_{sk} = \frac{\sum_{p \in APE_s} (SAI_{skp} - MAI_{sk})^2}{|APE_s| - 1}$$

Varianz der abgearbeiteten Arbeitsinhalte für Funktionsklasse k in der Planungsphase $[s; s+1]$ (3.87)

$$VSV_{sk} = \frac{\sqrt{VAR_{sk}}}{MAI_{sk}}$$

Variationskoeffizient der abgearbeiteten Arbeitsinhalte für die Funktionsklasse k in der Planungsphase $[s; s+1]$ (3.88)

Die Definition dieser Kennzahlen ermöglicht eine im Rahmen der Entwicklungsplanung quantitative Bewertung der sequenziellen Vollständigkeit von alternativen Personalstrukturen. Bei hohen Werten der Variationskoeffizienten sind die simulierten abgearbeiteten Arbeitsinhalte der einzelnen Funktionsklassen zwischen den einzelnen Personen p unterschiedlich aufgeteilt, was auf eine nach Funktionsklassen ausgerichtete Arbeitsteilung hindeutet. Je geringer die Variationskoeffizienten für eine Funktionsklasse k sind, desto gleichmäßiger werden die simulierten abgearbeiteten Arbeitsinhalte auf die Mitarbeiter aufgeteilt.

Um die vier Variationskoeffizienten für die Funktionsklassen "Bearbeiten", "Rüsten", "Umfeldaufgaben" und "Instandhaltung" in einer Kennzahl verdichten zu können, werden die Variationskoeffizienten wie folgt zum gewichteten Mittelwert und damit zu einer Kennzahl für die sequenzielle Vollständigkeit zusammengefasst:

$$MSV_s = \sum_{k \in K} GSV_k \cdot VSV_{sk}$$

Kennzahl für die sequenzielle Vollständigkeit in der Planungsphase $[s; s+1]$ (3.89)

mit: GSV_k Gewichtungsfaktor für Variationskoeffizient der Funktionsklasse k

Dabei gilt:

$$GSV_k \in [0;1] \quad \text{Bedingung für die Gewichtungsfaktoren} \quad (3.90)$$

$$\sum_{k \in K} GSV_k = 1$$

Aufgrund der in den Formeln (3.76) und (3.77) definierten eindeutigen Zuordnung von Funktionselementen l zu Funktionsklassen k wird bei der in *ESPE-PE* implementierten Vorgehensweise zur Personalentwicklungsplanung nach dem Prinzip der sequenziellen Vollständigkeit für jedes zu qualifizierende Funktionselement l der Funktionsklasse k ein Qualifizierungsbedarf zur Erreichung der sequenziellen Vollständigkeit von Arbeitsaufgaben QSV_{slp} ermittelt, für den folgende Beziehung gilt:

$$QSV_{slp} = 1 - \frac{SAI_{skp}}{SAI_{sk}}, l \in L_k \quad \text{Qualifizierungsbedarf der Person } p \text{ zur Erreichung der sequenziellen Vollständigkeit für das Funktionselement } l \text{ in der Planungsphase } [s;s+1] \quad (3.91)$$

Je geringer für die Person p der simulierte abgearbeitete Arbeitsinhalt SAI_{skp} für das Funktionselement l der Funktionsklasse k – gemessen am gesamten abgearbeiteten Arbeitsinhalt in dieser Funktionsklasse SAI_{sk} – ist, desto höher ist der Qualifizierungsbedarf hinsichtlich sequenzieller Vollständigkeit QSV_{slp} und desto höher ist der Neuzuordnungswert ZUW_{slp} für die bevorzugte Zuordnung weiterer Funktionselemente L_k zur Person p (zur Berechnung des Neuzuordnungswertes vgl. Kap. 4.2.2.1).

3.3.4.3 Personalentwicklungspotenzial

Die betriebsorganisatorischen Notwendigkeiten, die Qualifikationen der Fertigungsmitarbeiter an veränderte Anforderungen des Fertigungssystems anzupassen, können als objektive Kriterien der Per-

sonalentwicklungsplanung betrachtet werden. Neben objektiven Kriterien lässt sich aber auch die Neigung der Fertigungsmitarbeiter zu bestimmten Arbeitsaufgaben sowie zur Erweiterung ihrer Qualifikationen als subjektives Kriterium der Personalentwicklungsplanung anführen. Diese Unterscheidung in objektive und subjektive Kriterien ist bereits bei ZÜLCH (1979, S. 6 f.), allerdings im Rahmen der Personaleinsatzplanung, zu finden.

Um eine Aussage darüber treffen zu können, welcher Personaltyp bzw. welche Person für eine Qualifikationserweiterung besonders geeignet ist, kann im Rahmen einer Potenzialbewertung eine Reihe von Kriterien angegeben werden, die einen wesentlichen Einfluss auf die Bereitschaft des Personals zu einer Qualifikationserweiterung haben. Die in der Literatur zur Beurteilung des Mitarbeiterpotenzials diskutierten Kriterien sind vielfach auf die Potenzialbewertung von Führungskräften ausgerichtet (vgl. z.B. KNEBEL 1999, S. 182 ff.; JOCHUM, PÖSSNECKER 1992, S. 524). Die derartigen Potenzialbewertungen zugrunde liegenden Kriterien beziehen sich außer auf fachliche Kompetenzen auf soziale und methodische Fähigkeiten. Da für die vorliegende Arbeit die Ermittlung des Qualifizierungsbedarfs für Fertigungsmitarbeiter an veränderte Anforderungen eines Fertigungssystems im Vordergrund steht, beschränken sich die folgenden Kriterien auf die Beschreibung der fachlichen Eignung für eine Qualifikationserweiterung und sind insbesondere auf Mitarbeiter eines Fertigungssystems ausgerichtet.

Insgesamt wurden für die Modellierung des Personalentwicklungspotenzials in *ESPE-PE* folgende zehn Potenzialkriterien implementiert: Die Kriterien "persönliche Präferenzen", "Zufriedenheit" und "Belastbarkeit" beziehen sich auf ein konkretes Funktionselement. Die Kriterien "Einsatzbereitschaft", "Lernbereitschaft", "Flexibilität", "Selbstständigkeit", "Eigeninitiative", "Teamfähigkeit" und "Akzeptanz durch Kollegen" beschreiben die grundsätzliche Fähigkeit einer Person, zukünftig neuartige Arbeitsaufgaben zu übernehmen. Für die Potenzialkriterien gilt somit folgende Indexmenge:

$$R = \{r \in \mathbb{N} / 1 \leq r \leq 10\} \quad \begin{array}{l} \text{Indexmenge und Index für} \\ \text{Potenzialkriterien} \end{array} \quad (3.92)$$

Um im Simulationsverfahren *ESPE-PE* eine Aussage zu treffen, ob die Person p für die Qualifikationserweiterung des Funktionselementes l geeignet ist, bzw. welcher Person p im Falle einer Qualifikationseinfachung das Funktionselement l entzogen werden könnte, werden für jede Person p und für jedes vorhandene und zukünftig zu qualifizierende Funktionselement l die Potenzialkriterien anhand einer fünfstufigen Skala bewertet. Sofern für jede Skala Beschreibungen mit "gleichen Abständen" gefunden werden könnten, wäre die Voraussetzung für Bewertungen mit Intervallskalenniveau erfüllt (vgl. z.B. TRÄNKLE 1987, S. 90). Dies wird hier vereinfachend als gegeben vorausgesetzt. Die Wertemenge W und der Skalenwert w_{lpr} der Potenzialkriterien sind wie folgt definiert:

$$W = \{1,2,3,4,5\} \quad \text{Wertemenge der Potenzialkriterien} \quad (3.93)$$

$$w_{lpr} \in W \quad \forall r, p, l \quad \text{Skalenwert der Potenzialkriterien} \quad (3.94)$$

Die Modellierung des Personalentwicklungspotenzials erfolgt in *ESPE-PE* in der in Abbildung 3-12 dargestellten Bildschirmmaske (zur vergrößerten Darstellung vgl. auch Abb. 9-1 im Anhang). Die Einstufung der Potenzialkriterien kann dabei anhand von Mitarbeiterbefragungen oder anhand der Einschätzung eines Vorgesetzten erfolgen. Grundsätzlich stellt die Einschätzung des zukünftigen Entwicklungspotenzials ein Problem dar, das meist nur intuitiv gelöst werden kann (SCHOLZ 1994, S. 254). In diesem Zusammenhang stellen die aufgeführten Potenzialkriterien lediglich eine beispielhafte Auswahl von Bewertungsmöglichkeiten dar. Je nach Intention der Planungsverantwortlichen müssen bei der Bewertung des Mitarbeiterpotenzials nicht alle zur Auswahl stehenden Kriterien berücksichtigt werden.

Um bewerten zu können, welche Person sich angesichts ihres Entwicklungspotenzials für eine Qualifikationserweiterung besonders eignet, sind die Bewertungen der Potenzialkriterien zu einem Entwicklungspotenzialwert zusammenzufassen. Setzt man eine Gleichgewichtung der Potenzialkriterien voraus, so ergibt sich der Gesamtwert des Entwicklungspotenzials einer Person p für ein Funktionselement l zu:

$$w_{lp} = \sum_{r=1}^{10} w_{lpr}$$

Entwicklungspotenzialwert der Person p für Funktionselement l (3.95)

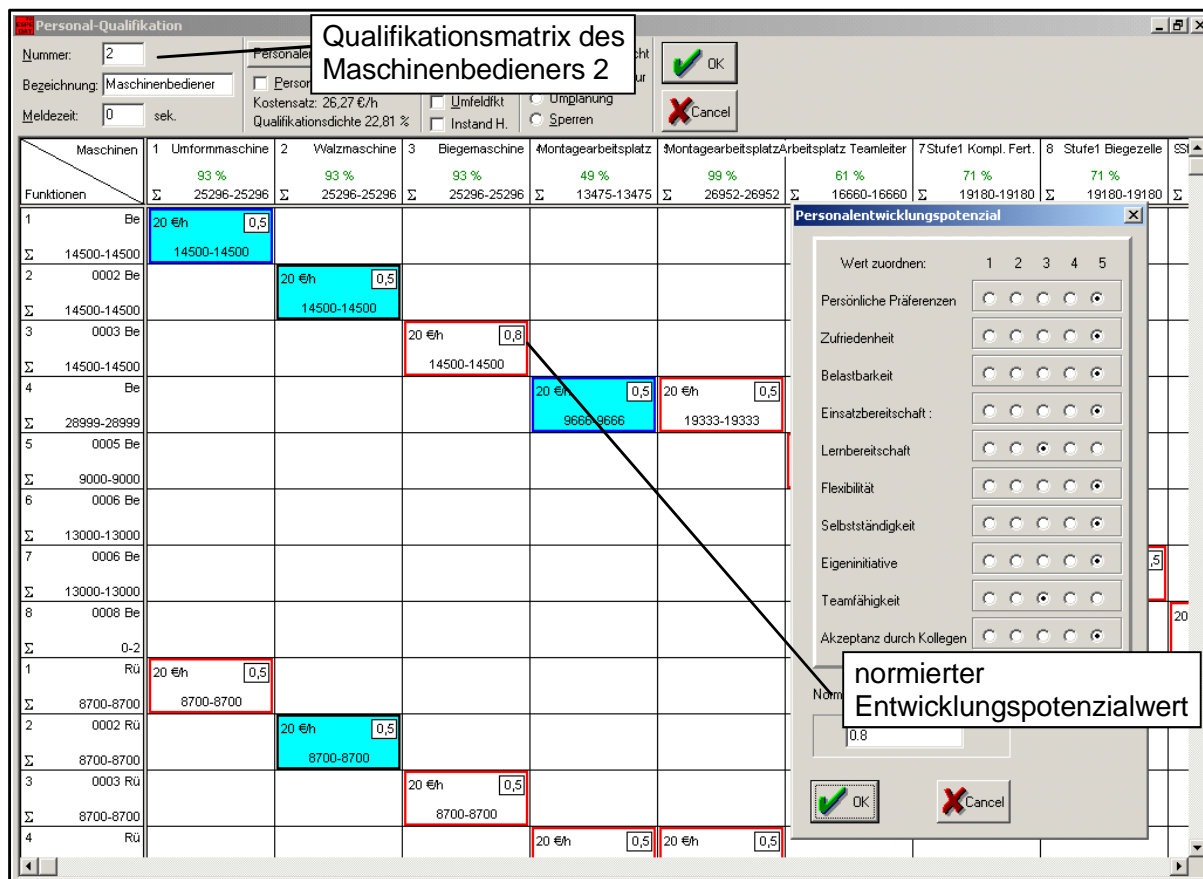


Abb. 3-12: Modellierung des Personalentwicklungspotenzials

Der Wertebereich des Entwicklungspotenzialwertes w_{lp} ist aufgrund der fünfstufigen Bewertungsskalen auf das Intervall $[10;50]$ begrenzt. Für die weitere Vorgehensweise (vgl. hierzu auch die Berechnung des Neuzuordnungswertes bzw. Vereinfachungswertes in den Kapiteln 4.2.2.1 und 4.2.2.2) ist der Entwicklungspotenzialwert w_{lp} nach folgender Berechnungsvorschrift auf das Intervall $[-1;1]$ zu normieren:

$$q_{lp} = \frac{w_{lp} - 10 \cdot M(W)}{50 - 10 \cdot M(W)} = \frac{w_{lp} - 30}{20} \quad \text{normierter Entwicklungspotenzialwert der Person } p \text{ für Funktionselement } l \quad (3.96)$$

mit: $M(W)=3$ Median der Wertemenge der Potenzialkriterien

Personen mit einem positiven Entwicklungspotenzialwert werden für eine Qualifikationserweiterung bevorzugt ausgewählt. Bei Personen mit negativem Wert wird auf eine Qualifikationserweiterung verzichtet. Führt die Person das Funktionselement bereits aus, so wird ihr dieses bei einer erforderlichen Qualifikationsvereinfachung entzogen. Formal lassen sich die Neuzuordnungs- bzw. Vereinfachungspotenzialwerte wie folgt darstellen:

$$ZUP_{slp} = \begin{cases} q_{lp} & \dots \text{ falls } 0 < q_{lp} \leq 1 \wedge l \in MQF_{sp} \\ 0 & \dots \text{ sonst} \end{cases} \quad (3.97)$$

Neuzuordnungspotenzialwert der Person p für Funktionselement l in der Planungsphase $[s; s+1]$

mit: MQF_{sp} Menge bei Person p in der Planungsphase $[s; s+1]$ zu qualifizierenden Funktionselemente (Formel 3.70)

$$VEP_{slp} = \begin{cases} q_{lp} & \dots \text{ falls } -1 \leq q_{lp} < 0 \wedge l \in MVF_{sp} \\ 0 & \dots \text{ sonst} \end{cases} \quad (3.98)$$

Vereinfachungspotenzialwert der Person p für Funktionselement l in der Planungsphase $[s; s+1]$

mit: MVF_{sp} Menge der in der Planungsphase $[s;s+1]$ nicht zu qualifizierenden bzw. zu entziehenden Funktionselemente l der Person p (Formel 3.72)

Um bewerten zu können, in welchem Rahmen persönliche Entwicklungspotenziale bei der Personalentwicklungsplanung innerhalb einer Planungsphase $[s;s+1]$ berücksichtigt werden, wird der Erfüllungsgrad des Personalentwicklungspotenzials EPE_{sp} definiert. Dieser gibt an, inwieweit jeder einzelnen Person p Funktionselemente zugeordnet werden, für die ein positiver Potenzialwert q_{lp} vorhanden ist. Zur Quantifizierung des Erfüllungsgrades einer Person p wird der Anteil der abgearbeiteten Arbeitsinhalte von Funktionselementen SAI_{slp} mit positivem Potenzialwert am gesamten abgearbeiteten Arbeitsinhalt aller Funktionselemente in der Planungsphase $[s;s+1]$ betrachtet:

$$SAI_{sp} = \sum_{l \in L_{sp}} SAI_{slp} \quad \begin{array}{l} \text{von Person } p \text{ in der Planungs-} \\ \text{phase } [s;s+1] \text{ (simulativ)} \\ \text{abgearbeiteter Arbeitsinhalt} \\ \text{(Formel 3.53)} \end{array} \quad (3.99)$$

mit: SAI_{slp} von Person p in der Planungsphase $[s;s+1]$ (simulativ) abgearbeiteter Arbeitsinhalt für Funktionselement l
 L_{sp} Qualifikation der Person p im Planungszeitraum $[s;s+1]$ (Formel 3.26)

$$MPL_{sp} = \{l \in L_{sp} \mid q_{lp} > 0\} \quad \begin{array}{l} \text{Indexmenge für Funktionsele-} \\ \text{mente, für die Person } p \text{ zum} \\ \text{Entwicklungsschritt } s \text{ einen} \\ \text{positiven Potenzialwert auf-} \\ \text{weist} \end{array} \quad (3.100)$$

$$SAP_{sp} = \sum_{l \in MPL_{sp}} SAI_{slp} \quad \text{von Person } p \text{ in der Planungsphase } [s; s+1] \text{ (simulativ) abgearbeiteter Arbeitsinhalt von Funktionselementen mit positivem Potenzialwert} \quad (3.101)$$

$$EPE_{sp} = \frac{SAP_{sp}}{SAI_{sp}} \cdot 100 \% \quad \text{Ausschöpfungsgrad des Entwicklungspotenzials der Person } p \text{ in der Planungsphase } [s; s+1] \quad (3.102)$$

Daraus ergibt sich der Ausschöpfungsgrad des Entwicklungspotenzials EPE_s einer Personalstruktur in der Planungsphase $[s; s+1]$ wie folgt:

$$EPE_s = \frac{1}{APE_s} \sum_{p \in APE_s} EPE_{sp} \quad \text{Ausschöpfungsgrad des Entwicklungspotenzials in der Planungsphase } [s; s+1] \quad (3.103)$$

Analog hierzu wird für Funktionselemente, für die Personen einen negativen Potenzialwert aufweisen, ein Ausschöpfungsgrad des Vereinfachungspotenzials wie folgt definiert:

$$MNL_{sp} = \{ l \in L_{sp} \mid q_{lp} < 0 \} \quad \text{Indexmenge für Funktionselemente, für die Person } p \text{ zum Entwicklungsschritt } s \text{ einen negativen Potenzialwert aufweist} \quad (3.104)$$

$$SAE_{sp} = \sum_{l \in MNL_{sp}} SAI_{slp} \quad \text{von Person } p \text{ in der Planungsphase } [s; s+1] \text{ abgearbeiteter Arbeitsinhalt von Funktionselementen mit negativem Potenzialwert} \quad (3.105)$$

$$EPV_{sp} = \frac{SAE_{sp}}{SAI_{sp}} \cdot 100 \% \quad \text{Ausschöpfungsgrad des Vereinfachungspotenzials der Person } p \text{ in der Planungsphase } [s;s+1] \quad (3.106)$$

Daraus ergibt sich der Ausschöpfungsgrad des Vereinfachungspotenzials EPV_s einer Personalstruktur in der Planungsphase $[s;s+1]$ wie folgt:

$$EPV_s = \frac{1}{APE_s} \sum_{p \in APE_s} EPV_{sp} \quad \text{Ausschöpfungsgrad des Vereinfachungspotenzials in der Planungsphase } [s;s+1] \quad (3.107)$$

Ein Ziel der Personalentwicklungsplanung nach personalbezogenen Kriterien ist es, dass die Ausschöpfungsgrade des Entwicklungspotenzials EPE_s bzw. Vereinfachungspotenzials EPV_s in der Planungsphase $[s;s+1]$ bessere oder zumindest gleich hohe Werte wie in der vorherigen Planungsphase $[s-1;s]$ aufweisen:

$$\begin{aligned} EPE_{s-1} &\leq EPE_s \\ EPV_{s-1} &\leq EPV_s \end{aligned} \quad \text{Verbesserung der Ausschöpfungsgrade als Ziel der Personalentwicklungsplanung} \quad (3.108)$$

3.3.5 Definition von Zielerreichungsgraden

3.3.5.1 Universalistenstruktur und kostengünstige Personalstruktur

Im Rahmen der Personalentwicklungsplanung werden alternative Personalstrukturen für die jeweiligen Zeitfenster gebildet und bewertet. Um alternative Personalstrukturen innerhalb einer Planungsphase $[s;s+1]$ miteinander vergleichen zu können, ist die Aufstellung einer Präferenzfunktion notwendig. Zur Aufstellung einer derartigen Funktion ist die Überführung der in den Kapiteln 3.3.2 bis 3.3.4 definierten Bewertungskriterien in dimensionslose Kriterien mit einem einheit-

lichen Wertebereich erforderlich. Hierfür hat sich die Verwendung von Zielerreichungsgraden bewährt (WEDEMEYER 1989, S. 69 ff.; GRAF 1991, S. 96 f.; zur Definition der produktionslogistischen und monetären Zielerreichungsgrade vgl. auch HEITZ 1994, S. 169 ff.). Ein Zielerreichungsgrad gibt für jedes Bewertungskriterium das prozentuale Verhältnis des betrachteten Wertes zu einem Bezugswert an. Dabei stellt der Bezugswert einen Idealwert dar, der für die jeweils in einer Planungsphase gültigen Rahmenbedingungen eine extrem gute Zielerreichung aufweist.

Zur Festsetzung der Bezugswerte werden zwei Vergleichslösungen zugrunde gelegt: Einerseits weist die Universalistenstruktur n^* die höchste produktionslogistische Zielerreichung auf, da bei dieser Qualifikationsstruktur keine personalbedingten Engpässe zu erwarten sind. Gleichzeitig weist diese Personalstruktur die höchsten Personaleinsatzkosten auf. Andererseits repräsentiert die kostenorientierte Personalstruktur n^0 eine möglichst kostengünstige Personalstruktur in Bezug auf die Personaleinsatzkosten. Für diese Personalstruktur wird die niedrigste produktionslogistische Zielerreichung angenommen. Diese Annahmen sowie die Definitionen der folgenden Zielerreichungsgrade wurden erstmals bei HEITZ (1994, S. 169 ff.) formuliert. Die Generierung derartiger Vergleichslösungen wird im Folgenden für jede Planungsphase $[s; s+1]$ notwendig, da jeweils veränderte Rahmenbedingungen und damit auch für die Berechnung der Zielerreichungsgrade veränderte Vergleichslösungen zugrunde gelegt werden müssen. Zur besseren Übersicht wurde bisher bei der Definition der Bewertungskriterien auf eine Indizierung mit der Personalstruktur n verzichtet. In den nachfolgenden Formeln müssen die Zielerreichungsgrade mit n indiziert werden, um das Verhältnis zu den Bezugswerten der Universalistenstruktur n^* und der kostenorientierten Personalstruktur n^0 darstellen zu können.

3.3.5.2 Produktionslogistischer Zielerreichungsgrad

Für die Berechnung der produktionslogistischen Zielerreichungsgrade wird die Annahme zugrunde gelegt, dass die Universalistenstruktur die höchste produktionslogistische Zielerreichung aufweist. Demnach

ist der Zielerreichungsgrad mittlerer Durchlaufzeitgrad ZDG_{sn} bei der Personalstruktur n eines Fertigungssystems in der Planungsphase $[s;s+1]$ folgendermaßen definiert (vgl. zur Definition des mittleren Durchlaufzeitgrads Formel 3.50):

$$ZDG_{sn} = \frac{DZG_{sn}}{DZG_{sn^*}} \cdot 100\% \quad \begin{array}{l} \text{Zielerreichungsgrad mittlerer} \\ \text{Durchlaufzeitgrad in der Pla-} \\ \text{nungsphase } [s;s+1] \end{array} \quad (3.109)$$

mit: DZG_{sn} mittlerer Durchlaufzeitgrad bei der Personalstruktur n in der Planungsphase $[s;s+1]$
 DZG_{sn^*} mittlerer Durchlaufzeitgrad bei Universalistenstruktur n^* in der Planungsphase $[s;s+1]$

Der Zielerreichungsgrad Abarbeitungsgrad ZAG_{sn} wird wie folgt berechnet (vgl. zur Definition des Abarbeitungsgrads Formel 3.51):

$$ZAG_{sn} = \frac{AAG_{sn}}{AAG_{sn^*}} \cdot 100\% \quad \begin{array}{l} \text{Zielerreichungsgrad Aabarbei-} \\ \text{tungsgrad in der Planungs-} \\ \text{phase } [s;s+1] \end{array} \quad (3.110)$$

mit: AAG_{sn} Abarbeitungsgrad bei der Personalstruktur n in der Planungsphase $[s;s+1]$
 AAG_{sn^*} Abarbeitungsgrad bei Universalistenstruktur n^* in der Planungsphase $[s;s+1]$

Der Berechnung des Zielerreichungsgrades Personalauslastung ZPA_{sn} einer Personalstruktur in der Planungsphase $[s;s+1]$ wird die folgende Definition zugrunde gelegt (vgl. zur Definition der mittleren Personalauslastung Formel 3.61):

$$ZPA_{sn} = \frac{PAU_{sn}}{PAU_{sn^*}} \cdot 100\% \quad \begin{array}{l} \text{Zielerreichungsgrad mittlere} \\ \text{Personalauslastung in der Pla-} \\ \text{nungsphase } [s;s+1] \end{array} \quad (3.111)$$

mit: PAU_{sn} mittlere Personalauslastung bei der Personalstruktur n in der Planungsphase $[s;s+1]$

PAU_{sn}^* mittlere Personalauslastung bei Universalistenstruktur n^* in der Planungsphase $[s;s+1]$

Zur Bildung einer additiven Präferenzfunktion ist die Verdichtung der zuvor definierten Zielerreichungsgrade in einem produktionslogistischen Zielerreichungsgrad ZPL_{sn} sinnvoll (vgl. z.B. BRINKMEIER 1998, S. 124). Die Zielerreichungsgrade mittlerer Durchlaufzeitgrad, Abarbeitungsgrad und mittlere Personalauslastung werden in Anlehnung an VOLLSTEDT (2002, S. 153) als Summe der gewichteten Einzelzielerreichungsgrade wie folgt zu einem produktionslogistischen Zielerreichungsgrad ZPL_{sn} zusammengefasst:

$$ZPL_{sn} = GZD \cdot ZDG_{sn} + GZA \cdot ZAG_{sn} + GZP \cdot ZPA_{sn} \quad (3.112)$$

produktionslogistischer Zielerreichungsgrad der Personalstruktur n in der Planungsphase $[s;s+1]$

| | | |
|------|-------|--|
| mit: | GZA | Gewichtungsfaktor für Zielerreichungsgrad Abarbeitungsgrad |
| | GZD | Gewichtungsfaktor für Zielerreichungsgrad Durchlaufzeitgrad |
| | GZP | Gewichtungsfaktor für Zielerreichungsgrad Personalauslastung |

Dabei gilt:

$$GZA, GZD, GZK \in [0;1] \quad \text{Bedingung für die Gewichtungsfaktoren} \quad (3.113)$$

$$GZA + GZD + GZK = 1$$

3.3.5.3 Monetärer Zielerreichungsgrad

Für die Definition des Zielerreichungsgrades Personaleinsatzkosten muss eine möglichst kostengünstige Personalstruktur ins Verhältnis zu den Personaleinsatzkosten der jeweils betrachteten Personalstruktur gesetzt werden. Dazu ist die Erzeugung einer kostenorientierten Personalstruktur n^0 notwendig, die erfahrungsgemäß die höchste Ziel-

erreicherung bei den Personaleinsatzkosten aufweist. Dabei werden die Funktionselemente nach der Höhe ihrer Stundensätze absteigend sortiert und unter Beachtung dieser Reihenfolge sowie der jeweiligen Kapazitätsbedarfe nacheinander jeweils einer Person zugeordnet, bis deren Auslastung die mittlere Personalauslastung erreicht oder überschreitet (vgl. zur Vorgehensweise HEITZ 1994, 133 ff.). So entsteht eine Personalstruktur mit unterschiedlichen Qualifikationen und vergleichsweise niedrigen Kostensätzen.

Mit Hilfe der kostenorientierten Personalstruktur lässt sich der Zielerreichungsgrad Personaleinsatzkosten ZKE_{sn} einer Personalstruktur in der Planungsphase $[s;s+1]$ wie folgt definieren (vgl. zur Berechnung des Personalstundensatzes Formel 3.64):

$$ZKE_{sn} = \frac{PKE_{sn^0}}{PKE_{sn}} \cdot 100\% \quad \text{Zielerreichungsgrad Personal- (3.114)} \\ \text{einsatzkosten in der Planungs-} \\ \text{phase } [s;s+1]$$

mit: PKE_{sn^0} Personaleinsatzkosten bei kostenorientierter Personalstruktur n^0 (in GE/h) in der Planungsphase $[s;s+1]$
 PKE_{sn} Personaleinsatzkosten der Personalstruktur n (in GE/h) in der Planungsphase $[s;s+1]$

Wie in Kapitel 3.2.2.2 beschrieben, sind auch die einzelnen Maßnahmen der Personalentwicklung monetär bewertbar. Mit der Berechnung von Personalentwicklungskosten wird eine Entscheidungsgrundlage über die Realisierbarkeit alternativer Planungslösungen bereitgestellt. Auch hierfür kann ein Zielerreichungsgrad definiert werden. Die zugrunde gelegte Definition geht davon aus, dass bei einer Qualifizierung der Personalstruktur zu Universalisten die höchsten Personalentwicklungskosten auftreten werden. In diesem Fall beträgt der Zielerreichungsgrad Personalentwicklungskosten $ZKE_{sn} = 0\%$. Der höchste Zielerreichungsgrad Personalentwicklungskosten $ZKE_{sn} = 100\%$ wird mit einer Personalstruktur erzielt, die unverändert aus der vorherigen Planungsphase übernommen wird ($PEK_{sn} = 0$; vgl. hierzu auch den Algorithmus zur Generierung von

Personalstrukturen mit minimalen Personalentwicklungskosten in Kap. 4.3.1).

Die Berechnung der maximalen Personalentwicklungskosten erfolgt nach den Formeln (3.67) und (3.68). Hierbei ist anzumerken, dass die Berechnung der Personalentwicklungskosten für die Universalistenlösung lediglich zur Ermittlung der maximalen Personalentwicklungskosten dient. Insbesondere wegen der fehlenden ganzheitlichen Betrachtung aller produktionslogistischen und monetären Zielsetzungen ist die Umsetzung der Universalistenstruktur in der betrieblichen Praxis vielfach nicht realisierbar.

Auf dieser Grundlage wird der Zielerreichungsgrad Personalentwicklungskosten ZEK_{sn} der Personalstruktur n in der Planungsphase $[s;s+1]$ wie folgt definiert:

$$ZEK_{sn} = \left(1 - \frac{PEK_{sn}}{PEK_{sn^*}} \right) \cdot 100\% \quad (3.115)$$

Zielerreichungsgrad Personalentwicklungskosten in der Planungsphase $[s;s+1]$

mit: PEK_{sn} Personalentwicklungskosten der Personalstruktur n in der Planungsphase $[s;s+1]$
 PEK_{sn^*} Personalentwicklungskosten für Universalistenstruktur n^* in der Planungsphase $[s;s+1]$

Die zuvor definierten monetären Zielerreichungsgrade lassen sich in Analogie zu Formel (3.113) wie folgt zu einem Zielerreichungsgrad Personalkosten ZPK_{sn} zusammenfassen:

$$ZPK_{sn} = GZI \cdot ZKE_{sn} + GZE \cdot ZEK_{sn} \quad (3.116)$$

Zielerreichungsgrad Personalkosten der Personalstruktur in der Planungsphase $[s;s+1]$

mit: GZI Gewichtungsfaktor für Zielerreichungsgrad Personaleinsatzkosten

GZE Gewichtungsfaktor für Zielerreichungsgrad
Personalentwicklungskosten

Dabei gilt:

$$\begin{aligned} GZI, GZE \in [0;1] & \quad \text{Bedingung für die} & (3.117) \\ GZI+GZE = 1 & \quad \text{Gewichtungsfaktoren} \end{aligned}$$

3.3.5.4 Personalbezogener Zielerreichungsgrad

Um für das Kriterium der sequenziellen Vollständigkeit einen Zielerreichungsgrad zu definieren, wird die Annahme zugrunde gelegt, dass bei einer Universalistenstruktur der Spielraum für die Zuordnung von sequenziell vollständigen Arbeitsaufgaben am größten ist, da bei einer derartigen Zuordnung keine qualifikatorischen Restriktionen zu erwarten sind. In diesem Fall ist der gewichtete Mittelwert der sequenziellen Vollständigkeit MSV_{sn}^* für die Universalistenstruktur am geringsten (vgl. zur Berechnung des gewichteten Mittelwertes der sequenziellen Vollständigkeit Kap. 3.3.4.2). Diese Annahme konnte bereits anhand umfangreicher Simulationsuntersuchungen bestätigt werden (vgl. die Beispiele in ZÜLCH, ROTTINGER 2002, S. 267 f.). Somit lässt sich der Zielerreichungsgrad sequenzielle Vollständigkeit ZSV_{sn} einer Personalstruktur in der Planungsphase $[s;s+1]$ wie folgt definieren:

$$ZSV_{sn} = \frac{MSV_{sn}^*}{MSV_{sn}} \cdot 100\% \quad \begin{array}{l} \text{Zielerreichungsgrad sequenzielle} \\ \text{Vollständigkeit in der Planungs-} \\ \text{phase } [s;s+1] \end{array} \quad (3.118)$$

mit: MSV_{sn}^* Kennzahl für die sequenzielle Vollständigkeit bei Universalistenstruktur n^* in der Planungsphase $[s;s+1]$
 MSV_{sn} Kennzahl für die sequenzielle Vollständigkeit der Personalstruktur n in der Planungsphase $[s;s+1]$ (Formel 3.89)

Auch bei der Berücksichtigung von Personalentwicklungspotenzialen (vgl. Kap. 3.3.4.3) lässt sich ein Zielerreichungsgrad angeben. Dabei wird davon ausgegangen, dass bei einer Universalistenstruktur positive Potenzialwerte bei der Zuordnung von Personen zu Funktionselementen am besten berücksichtigt werden können, gleiches gilt auch bei Funktionselementen, für die eine Person einen negativen Potenzialwert aufweist. Funktionselemente mit negativen Potenzialwerten können bei dieser Personalstruktur am ehesten anderen Personen zugeordnet werden. Demzufolge werden die Zielerreichungsgrade Entwicklungspotenzial und der Zielerreichungsgrad Vereinfachungspotenzial wie folgt definiert:

$$ZPE_{sn} = \frac{EPE_{sn}}{EPE_{sn*}} \cdot 100\% \quad \text{Zielerreichungsgrad Entwicklungspotenzial in der Planungsphase } [s;s+1] \text{ (vgl. Formel 3.103)} \quad (3.119)$$

mit: EPE_{sn} Ausschöpfungsgrad des Entwicklungspotenzials der Personalstruktur n in der Planungsphase $[s;s+1]$
 EPE_{sn*} Ausschöpfungsgrad des Entwicklungspotenzials bei Universalistenstruktur n^* in der Planungsphase $[s;s+1]$

$$ZPV_{sn} = \frac{EPV_{sn}}{EPV_{sn*}} \cdot 100\% \quad \text{Zielerreichungsgrad Vereinfachungspotenzial in der Planungsphase } [s;s+1] \text{ (vgl. Formel 3.107)} \quad (3.120)$$

mit: EPV_{sn} Ausschöpfungsgrad des Vereinfachungspotenzials der Personalstruktur n in der Planungsphase $[s;s+1]$
 EPV_{sn*} Ausschöpfungsgrad des Vereinfachungspotenzials bei Universalistenstruktur n^* in der Planungsphase $[s;s+1]$

Unter Verwendung von Gewichtungsfaktoren werden die Zielerreichungsgrade zum Zielerreichungsgrad Potenzialausschöpfung zusammengefasst:

$$ZPU_{sn} = GZN \cdot ZPE_{sn} + GZV \cdot ZPV_{sn} \quad (3.121)$$

Zielerreichungsgrad Potenzialausschöpfung der Personalstruktur in der Planungsphase $[s;s+1]$

mit: GZN Gewichtungsfaktor für Zielerreichungsgrad Entwicklungspotenzial
 GZV Gewichtungsfaktor für Zielerreichungsgrad Vereinfachungspotenzial

Dabei gilt:

$$GZN, GZV \in [0;1] \quad \text{Bedingung für die Gewichtungs- (3.122)} \\ \text{faktoren}$$

$$GZN + GZV = 1$$

Die zuvor definierten personalbezogenen Zielerreichungsgrade lassen sich zu dem personalbezogenen Zielerreichungsgrad ZPB_{sn} wie folgt zusammenfassen:

$$ZPB_{sn} = GZS \cdot ZSV_{sn} + GZU \cdot ZPU_{sn} \quad (3.123)$$

personalbezogener Zielerreichungsgrad der Personalstruktur in der Planungsphase $[s;s+1]$

mit: GZS Gewichtungsfaktor für Zielerreichungsgrad sequenzielle Vollständigkeit
 GZU Gewichtungsfaktor für Zielerreichungsgrad Potenzialausschöpfung

Dabei gilt:

$$\begin{array}{ll}
GZS, GZU \in [0;1] & \text{Bedingung für die} \\
GZS+GZU = 1 & \text{Gewichtungsfaktoren}
\end{array} \quad (3.124)$$

3.3.5.5 Berechnung des Gesamtzielerreichungsgrads

Um eine vergleichende Bewertung alternativer Planungslösungen zu ermöglichen, werden der produktionslogistische Zielerreichungsgrad ZPL_{sn} , der Zielerreichungsgrad Personalkosten ZPK_{sn} und der personalbezogene Zielerreichungsgrad ZPB_{sn} unter Verwendung von Gewichtungsfaktoren zu einem Gesamtzielerreichungsgrad ZEG_{sn} zusammengefasst. Die Gewichtung einzelner Zielerreichungsgrade stellt sicher, dass je nach Intention der Personalentwicklungsplanung unterschiedliche Zielsetzungen verfolgt werden können:

$$ZEG_{sn} = GZL \cdot ZPL_{sn} + GZM \cdot ZPK_{sn} + GZB \cdot ZPB_{sn} \quad (3.125)$$

Gesamtzielerreichungsgrad der Personalstruktur n in der Planungsphase $[s;s+1]$

Dabei gilt:

$$\begin{array}{ll}
GZL, GZM, GZB \in [0;1] & \text{Bedingung für die Gewich-} \\
GZL+GZM+GZB = 1 & \text{tungsfaktoren}
\end{array} \quad (3.126)$$

| | | |
|------|-------|---|
| mit: | GZL | Gewichtungsfaktor für produktionslogistischen Zielerreichungsgrad |
| | GZM | Gewichtungsfaktor für monetären Zielerreichungsgrad |
| | GZB | Gewichtungsfaktor für personalbezogenen Zielerreichungsgrad |

Die Zusammenfassung der produktionslogistischen, monetären und personalbezogenen Zielerreichungsgrade in einer Präferenzfunktion ermöglicht eine multikriterielle Bewertung der Personalentwicklungsplanung. Dabei zeigt sich die Notwendigkeit einer fallspezifischen

Gewichtung auch beim Einsatz des entwickelten Verfahrens in den in Kapitel 6 aufgeführten Anwendungsbeispielen.

4. Verfahren zur Generierung von Planungslösungen für die Personalentwicklung

Welche Funktionselemente zu einem personalbedingten Engpass führen werden, welche Mitarbeiter sich für Personalentwicklungsmaßnahmen eignen und welche der verschiedenen Maßnahmen die beste Alternative ist, lässt sich nur mit Hilfe einer systematischen Vorgehensweise beantworten. Zur Lösung derartig komplexer Fragestellungen wird in den folgenden Kapiteln ein simulationsunterstütztes Verfahren entwickelt, das auf der Basis der modellierten Erzeugnis- und Fertigungstechnologieentwicklung alternative Personalstrukturen generiert.

Im Rahmen der Vorgehensweise wird die personalorientierte Simulation eingesetzt. Sie ermöglicht eine dynamische Bewertung von Planungslösungen, die in Abhängigkeit von der Erzeugnis- und Fertigungstechnologieentwicklung für jede Planungsphase zu generieren sind.

4.1 Verfahrensbeschreibung

Das nachfolgend entwickelte Verfahren zur mehrphasigen Personalentwicklungsplanung basiert auf dem Zwei-Phasen-Konzept mit heuristischer Lösungsfindung von HEITZ (1994, S. 127 ff.). Dieses Verfahren wurde zunächst zur Neuplanung von Personalstrukturen eingesetzt und von HEEL (1999, S. 113 ff.) für die systematische Umplanung von Personalstrukturen weiterentwickelt, wobei eine Planungslösung bislang lediglich für einen einzelnen Entwicklungsschritt von s nach $s+1$ generiert wurde. In Anbetracht der erfolgreichen Anwendung dieser beiden Verfahren in zahlreichen Simulations-

studien (vgl. hierzu z.B. HEEL, KRÜGER 1999, S 43 ff.; ZÜLCH, ROTTINGER, VOLLSTEDT 2002, S. 433 ff.) wird die grundlegende Vorgehensweise, insbesondere der zur Lösungssuche eingesetzte Simulated Annealing-Algorithmus (DUECK 1993, S. 87; DUECK, SCHEUER, WALLMEIER 1993, S. 48), beibehalten. Dieser Algorithmus ermöglicht das Auffinden heuristisch optimaler Lösungen für Personalstrukturen in Fertigungssystemen unter Berücksichtigung des für eine Planungsphase geplanten Fertigungsprogramms. Die Anpassung an die Erfordernisse der mehrphasigen Personalentwicklungsplanung wird nachfolgend beschrieben.

Im Gegensatz zur einmaligen Umplanung, bei der eine heuristisch optimale Planungslösung ermittelt wird, gilt für die mehrphasige Personalentwicklungsplanung, dass die für eine Planungsphase ermittelte heuristisch optimale Lösung nicht notwendigerweise auch für den gesamten mehrphasigen Personalentwicklungsplan gelten muss. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, mehrere alternative Planungslösungen pro Planungsphase zu generieren und für die folgenden Erzeugnis- und Fertigungstechnologieentwicklungen weiter zu betrachten.

Die Vorgehensweise der mehrphasigen Personalentwicklungsplanung zeigt Abbildung 4-1. Im ersten Schritt erfolgt die Modellierung des Fertigungssystems in der Ausgangssituation $s=0$. Neben dem Fertigungsprogramm und der Betriebsmittelstruktur ist die detaillierte Beschreibung der Anzahl und der Qualifikation des Personals (Personalstruktur) notwendig. Für die später erfolgende personalbezogene Bewertung für die Neuordnung bzw. Vereinfachung von Funktionselementen, die im Rahmen der qualitativen Personalentwicklung personalseitig vorzunehmen ist, wird hierbei bereits das Qualifikationsentwicklungspotenzial der Mitarbeiter nach den in Kapitel 3.3.4.3 dargestellten Potenzialkriterien modelliert.

Die entscheidende Erweiterung des Simulationsverfahrens *ESPEPE* gegenüber seinen Vorgängern ist die Berücksichtigung der Erzeugnis- und Fertigungstechnologieentwicklung über mehrere Planungsphasen nach den in den Kapiteln 3.2.1 und 3.2.2 dargestellten Modellierungskonzepten. Damit lässt sich für jede modellierte Planungsphase das Fertigungssystem simulieren und bewerten.

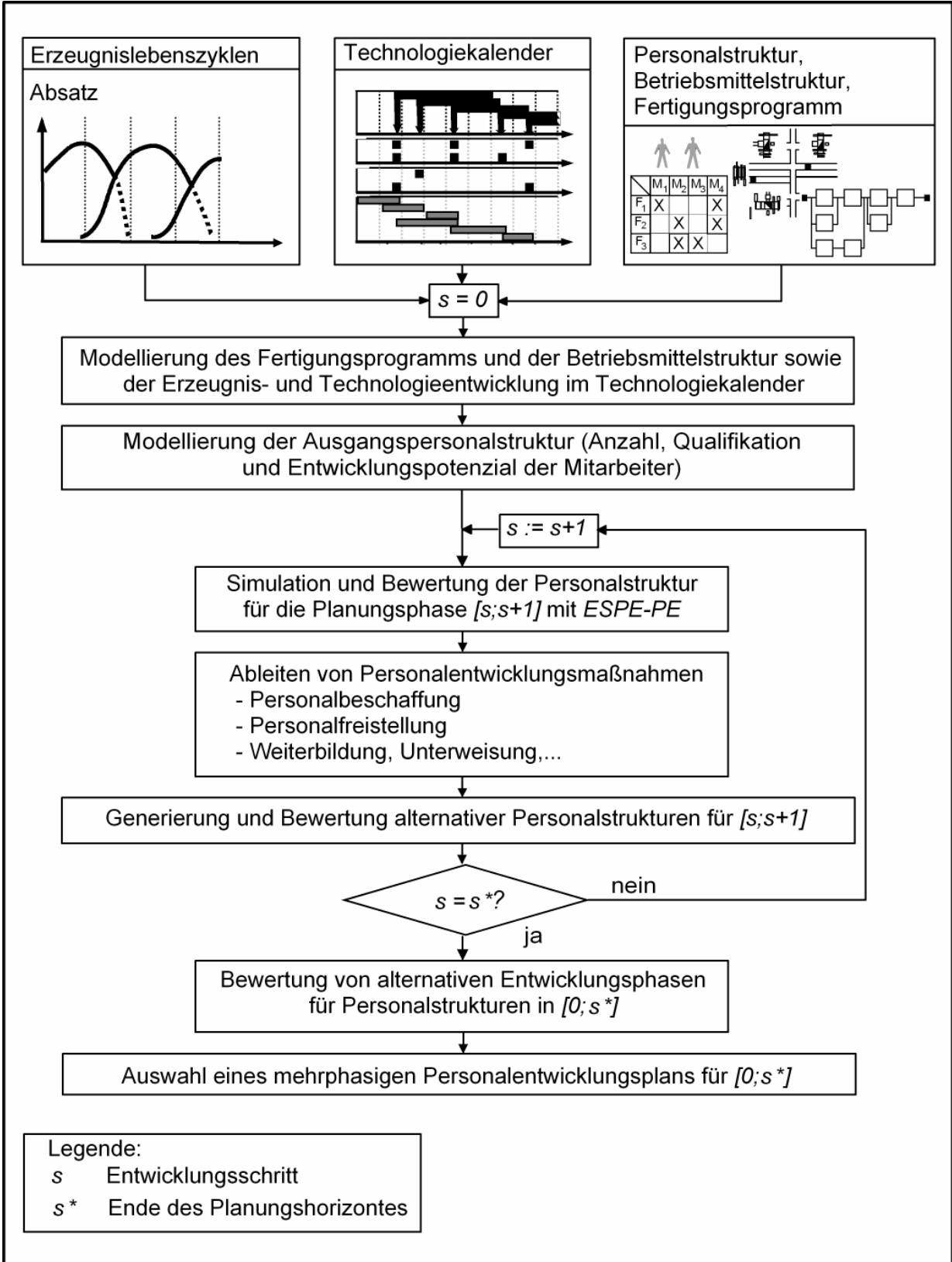


Abb. 4-1: Vorgehensweise der mehrphasigen Personalentwicklungsplanung

Anhand der zu berücksichtigenden Zielsetzungen ist dabei die Personalstruktur an die jeweils veränderten Rahmenbedingungen zielgerichtet anzupassen. Diese Anpassung wird in *ESPE-PE* für jede Planungsphase $[s;s+1]$ in einem iterativen Verbesserungsprozess vollzogen. Die Basis hierfür ist die Berechnung von Neuuzuordnungs- bzw. Vereinfachungswerten (vgl. Formeln 4.2 und 4.3; zur Unterscheidung der Begriffe Neuuzuordnungspotenzial- bzw. Vereinfachungspotenzialwerte vgl. Formeln 3.97 und 3.98), die zur Identifikation der zu verändernden Qualifikationen der Fertigungsmitarbeiter, aber auch zur Ermittlung der Anzahl Fertigungsmitarbeiter dient. Anhand dieser Bewertung der Neuuzuordnung bzw. Vereinfachung von Funktionselementen wird in jedem Iterationsschritt die Qualifikation der Fertigungsmitarbeiter systematisch verändert.

Grundsätzlich ist die Anpassung der Qualifikation anhand zweier Strategien möglich (HEITZ 1994, S. 148): Die Strategie der zielgerichteten Qualifikationserweiterung wird eingesetzt, wenn durch die Simulation für die zu bewertende Planungsphase $[s;s+1]$ aufgrund von Personalengpässen unbefriedigende produktionslogistische Zielerreichungsgrade ermittelt werden. Sind die Personaleinsatzkosten zu hoch, dann können diese mit der Strategie zur gezielten Qualifikationsvereinfachung gesenkt werden (zu den Strategien der Qualifikationsanpassung vgl. auch Kap. 4.2).

Neben der Anpassung der Qualifikation ist im Bedarfsfall auch die Beschaffung bzw. die Freistellung von Personal erforderlich. Ob eine zielgerichtete Veränderung der Anzahl Fertigungsmitarbeiter vorgenommen werden muss, ist von Art und Umfang der Erzeugnis- und Fertigungstechnologieentwicklung in den nachfolgenden Phasen abhängig.

Mit der Aneinanderreihung einzelner Personalentwicklungsmaßnahmen, die für jede Planungsphase $[s;s+1]$ zu ermitteln sind, zu einem Personalentwicklungsplan ist die Problemstellung der mehrphasigen Personalentwicklungsplanung noch nicht gelöst. Alle Einzelmaßnahmen, die zu einem bestimmten Zeitpunkt beendet sein müssen, sind unter dem Aspekt der nachfolgenden Phasen und dem Veränderungspotenzial der vorhandenen Personalstruktur zu betrachten. Beispielsweise können bereits in frühen Phasen der Personalentwick-

lung Maßnahmen zur Personalbeschaffung in Erwägung gezogen werden, auch wenn kurzfristig Weiterbildungsmaßnahmen ausreichend wären, die längerfristig zu erwartende Entwicklung der Fertigungsmenge jedoch die Neueinstellung von Personal erfordert. Insbesondere die Personalentwicklungskosten werden dann für die Auswahl der geeigneten Personalentwicklungsmaßnahme entscheidungsrelevant.

Vor diesem Hintergrund sind für jede Planungsphase alternative Planungslösungen zu generieren und bis zum Ende des Planungshorizontes weiter zu verfolgen. Die sich daraus ergebenden alternativen Personalentwicklungspfade sind in geeigneter Weise zu bewerten. Bei der Bewertung und Auswahl eines geeigneten Personalentwicklungspfad es ist insbesondere die zeitliche Nähe der Personalentwicklungsmaßnahmen zum Planungsbeginn in $s=0$ angemessen zu berücksichtigen (zur mehrphasigen Bewertung von alternativen Personalentwicklungspfaden vgl. Kap. 5). Das Resultat dieser Vorgehensweise ist ein Personalentwicklungsplan, der den Veränderungen von Fertigungssystemen über mehrere Entwicklungsphasen hinweg Rechnung trägt und dabei produktionslogistische, monetäre sowie personalbezogene Zielsetzungen berücksichtigt. Neben der Entwicklung einer heuristisch optimalen Personalstruktur für jedes einzelne Entwicklungsfenster werden in den folgenden Kapiteln Algorithmen zur Erzeugung weiterer Planungslösungen beschrieben, die hinsichtlich der zugrunde gelegten Zielsetzungen günstige Planungsalternativen für die Weiterentwicklung der Personalstruktur darstellen.

4.2 Heuristischer Suchalgorithmus zur Qualifikationsanpassung

4.2.1 Vorgehensweise des Suchalgorithmus

Das Planungsproblem bei der Anpassung von Personalstrukturen an die Erzeugnis- und Fertigungstechnologieentwicklung ist von konkurrierenden Zielsetzungen in Form von produktionslogistischen, mone-

tären und personalbezogenen Zielgrößen gekennzeichnet. Bezogen auf einen Mitarbeiter äußert sich der Zielkonflikt darin, dass ein Mitarbeiter, der für eine große Anzahl verschiedener Funktionselemente qualifiziert ist, zu einer guten produktionslogistischen Zielerreichung beiträgt. Gleichzeitig steigen damit aber auch seine Personaleinsatzkosten. Um in Abhängigkeit von der für eine Planungsphase $[s;s+1]$ geplanten Veränderungen bei Erzeugnissen und Technologien eine Planungslösung aufzufinden, die beiden Zielgrößen gerecht wird, eignet sich der Einsatz eines heuristischen Suchalgorithmus. Dieser Algorithmus muss demnach den gegensätzlichen Maßnahmen der Qualifikationserweiterung bzw. -vereinfachung gleichermaßen gerecht werden, um so eine zielgerichtete Suche im Lösungsraum zu ermöglichen. Damit wird eine systematische Vorgehensweise für das Auffinden guter Planungslösungen garantiert, im Gegensatz zu dem bei Simulationsansätzen üblichen Prinzip des Versuchs und Irrtums, bei dem gute Lösungen in der Regel intuitiv gefunden werden müssen.

Als Suchalgorithmus zur Auffindung möglichst vorteilhafter Personalstrukturen hat HEITZ (1994, S. 56 ff.) eine problemangepasste Form des Sintflut-Algorithmus vorgestellt, die auch hier für die Qualifikationsanpassung innerhalb einer Planungsphase verwendet wird. Die Vorgehensweise entspricht der Strategie eines Bergsteigers, der vor einer steigenden Sintflut in die Berge flüchtet. In jedem Iterationsschritt steigt der Wasserstand um einen konstanten Betrag an; die gewählte Verbesserungsstrategie wird in der ursprünglichen Form des Algorithmus solange beibehalten, bis sie den aktuellen Wasserstand nicht unterschreitet. Die problemangepasste Form des Algorithmus erlaubt dem Bergsteiger bei zunehmender Inselbildung auch ein Unterschreiten des Wasserstandes, um einen höher gelegenen Gipfel zu erreichen. Der Algorithmus bricht ab, wenn nach einer bestimmten Anzahl von Iterationsschritten ITM keine Verbesserung mehr erzielt wird bzw. wenn eine zuvor festgelegte Anzahl von Suchschritten erreicht ist (HEITZ 1994, S. 57).

Übertragen auf die Problemstellung der Qualifikationsanpassung von Personalstrukturen wird zu Beginn der Iteration ein "Anfangswasserstand" IWL (Initial Water Level) als Referenzwert des Gesamtzielereichungsgrades ZEG_{sn} der Personalstruktur n und ein Betrag für die

Regengeschwindigkeit RSP (Rain Speed) festgelegt. Die Regengeschwindigkeit lässt pro Iterationsschritt den Wasserstand kontinuierlich ansteigen. Fällt bei einem Iterationsschritt der Gesamtzielerreichungsgrad unter den Referenzwert, so wird ein Wechsel der bevorzugten Suchrichtung, d.h. ein Wechsel zwischen Tiefen- und Breitensuche notwendig (vgl. zur Suchrichtung Kap. 9-3 im Anhang). Die Möglichkeit, den Wasserstand auch unterschreiten zu dürfen, erlaubt ggf. das Auffinden einer Personalstruktur mit noch weiter verbessertem Gesamtzielerreichungsgrad.

Ob bei der Qualifikationsanpassung die Strategie der Qualifikationserweiterung oder -vereinfachung zum Einsatz kommt, entscheidet der Vergleich der produktionslogistischen Zielerreichung ZPL_{sn} (gewichteter arithmetischer Mittelwert aus Durchlaufzeitgrad, Abarbeitungsgrad und Personalauslastung; vgl. Formel 3.113) mit dem Zielerreichungsgrad Personaleinsatzkosten ZKE_{sn} (vgl. Formel 3.115; zu den Bedingungen für eine Qualifikationserweiterung bzw. -vereinfachung vgl. Kap. 4.2.3; zum Ablauf des angepassten Sintflut-Algorithmus vgl. Kap. 9.4 im Anhang).

4.2.2 Zielgerichtete Anpassung von Personalstrukturen

4.2.2.1 Strategie der bevorzugten Qualifikationserweiterung

Die Strategie der Qualifikationserweiterung wird dann eingesetzt, wenn die Personalstruktur aufgrund qualifikatorischer Engpässe eine im Vergleich zu den Personaleinsatzkosten ungenügende produktionslogistische Zielerreichung aufweist. Diese Bedingung lässt sich wie folgt formalisieren:

$$ZPL_{sn} < ZPK_{sn} \quad \text{Bedingung für zielgerichtete Qualifikationserweiterung} \quad (4.1)$$

Für diese Strategie ist es in einem ersten Schritt erforderlich, Funktionselemente zu ermitteln, die innerhalb eines Simulationslaufes einen Engpass darstellen. Die Identifikation qualifikatorischer Engpässe erfolgt anhand der für jeden Simulationslauf durchzuführenden Protokollierung der vergeblich angeforderten Tätigkeiten. Diese Vor-

gehensweise, die bereits bei HEITZ (1994, S. 149 ff.) ausführlich dargestellt ist, wird in Kapitel 9.2 im Anhang wiedergegeben. In einem zweiten Schritt ist zu ermitteln, welcher Person ein Funktionselement neu zugeordnet werden soll. Hierzu wird für jedes Funktionselement ein Neuzuordnungswert ZUW_{slp} berechnet. Dieser Wert entscheidet, welcher Person bevorzugt weitere Funktionselemente zugeordnet werden sollen. Er berücksichtigt verschiedene, teilweise sich widersprechende Einzelkriterien, die je nach Intention des Planers unterschiedlich gewichtet werden können. Einerseits werden persönliche Belange der Fertigungsmitarbeiter betrachtet, andererseits muss die Neuzuordnung einen im Vergleich zur Ausgangssituation verbesserten, zumindest aber gleich guten Fertigungsablauf gewährleisten. Die Berechnungsvorschrift orientiert sich an HEEL (1999, S. 103), wird jedoch zur Berücksichtigung der in Kapitel 3.3.4 definierten personalbezogenen Kriterien hier entsprechend modifiziert. Die Berechnung erfolgt für jede Planungsphase $[s;s+1]$ und ist nun wie folgt definiert:

$$ZUW_{slp} = GNP \cdot ZUP_{slp} + GPA \cdot \left(1 - \frac{PAU_{sp}}{100\%} \right) + GVE \cdot \frac{VER_{slp}}{VER_{sl}} \quad (4.2)$$

$$+ GSV \cdot QSV_{slp}$$

Neuzuordnungswert der Person p für Funktionselement l in der Planungsphase $[s;s+1]$

| | | |
|------|------------|--|
| mit: | GNP | Gewichtungsfaktor für Neuzuordnungspotenzial |
| | GPA | Gewichtungsfaktor für Personalauslastung |
| | GSV | Gewichtungsfaktor für sequenzielle Vollständigkeit |
| | GVE | Gewichtungsfaktor für potenzielle Verfügbarkeit |
| | PAU_{sp} | Auslastung der Person p in der Planungsphase $[s;s+1]$ (Formel 3.59) |

| | |
|-----------------------|---|
| $QSV_{slp} \in [0;1]$ | Qualifizierungsbedarf der Person p zur Erreichung der sequenziellen Vollständigkeit für das Funktionselement l in der Planungsphase $[s;s+1]$ (Formel 3.91) |
| $VER_{slp} \in IN_0$ | potenzielle Verfügbarkeit der Person p für Funktionselement l in der Planungsphase $[s;s+1]$ |
| $VER_{sl} \in IN_0$ | potenzielle Verfügbarkeit aller nicht für das Funktionselement l qualifizierten Personen in der Planungsphase $[s;s+1]$ (Formel 4.5) |
| $ZUP_{slp} \in [0;1]$ | Neuzuordnungspotenzialwert der Person p für Funktionselement l in der Planungsphase $[s;s+1]$ (Formel 3.97) |

Dabei gilt:

$$\begin{array}{ll} GNP, GPA, GSV, GVE \in [0;1] & \text{Bedingung für die} \\ GNP+GPA+GSV+GVE = 1 & \text{Gewichtungsfaktoren} \end{array} \quad (4.3)$$

Das erste Kriterium aus Formel (4.2) basiert auf der Nutzbarmachung des persönlichen Personalentwicklungspotenzials q_{lp} (Formel 3.96). Bei Entwicklungspotenzialwerten größer Null fließt dieser Wert als Neuzuordnungspotenzialwert ZUP_{slp} mit der entsprechenden Gewichtung GNP in die Berechnung des Neuzuordnungswertes ein.

Das zweite Kriterium berücksichtigt bei der Zuordnung bevorzugt Personen mit geringer Personalauslastung PAU_{sp} . Aus produktionslogistischer Sicht deutet eine geringe Personalauslastung auf eine häufige freie Verfügbarkeit der Person hin. Aber auch aus personalbezogenen Gründen ist es sinnvoll, Personen mit geringer Personalauslastung zuerst für zusätzliche Funktionselemente zu qualifizieren, um damit eine möglichst gleichmäßige Personalauslastung für alle Personen der Personalstruktur zu erzielen.

Eine aus produktionslogistischer Sicht wesentliche Voraussetzung für einen reibungslosen Fertigungsablauf ist die Neuzuordnung angesichts einer hohen potenziellen Verfügbarkeit VER_{slp} einer Person. Die potenzielle Verfügbarkeit ist eine Anzahl von Zeitpunkten an denen während eines Simulationslaufes eine Person für das ange-

forderte Funktionselement verfügbar war, aufgrund der fehlenden Qualifikation das Funktionselement jedoch nicht ausführen konnte. Je höher der Wert der potenziellen Verfügbarkeit einer Person p für das Funktionselement l ist, desto größer wird der Neuzuordnungswert für dieses Funktionselement. Die potenzielle Verfügbarkeit VER_{sl} aller Personen der Personalstruktur, die ebenfalls nicht für das Funktionselement l qualifiziert sind, dient dabei als Bezugsgröße. Für die Berechnung der potenziellen Verfügbarkeit ist zunächst die Indexmenge P_{sl} für Personen p zu definieren, die für das Funktionselement qualifiziert sind:

$$P_{sl} = \{p \in P_s \mid p \text{ ist für } l \text{ qualifiziert}\} \quad \begin{array}{l} \text{Personen, die für das} \\ \text{Funktionselement } l \text{ in} \\ \text{der Planungsphase} \\ [s; s+1] \text{ qualifiziert} \\ \text{sind} \end{array} \quad (4.4)$$

Danach gilt für die nicht für das Funktionselement l qualifizierten Personen:

$$VER_{sl} = \sum_{p \notin P_{sl}} VER_{slp} \quad \begin{array}{l} \text{potenzielle Verfügbar-} \\ \text{keit aller nicht für das} \\ \text{Funktionselement } l \\ \text{qualifizierten Personen} \\ \text{in der Planungsphase} \\ [s; s+1] \end{array} \quad (4.5)$$

mit: VER_{slp} potenzielle Verfügbarkeit der Person p , die für das Funktionselement l nicht qualifiziert ist

Weiterhin wird bei der Berechnung des Neuzuordnungswertes eine Zuordnung nach dem Prinzip der sequenziellen Vollständigkeit von Arbeitsaufgaben berücksichtigt. Dabei werden den Mitarbeitern bevorzugt Funktionselemente zugeordnet, die zu einer Anreicherung ihrer Arbeitsinhalte beitragen werden. Bei der in Kapitel 3.3.4.1 dargestellten Vorgehensweise wird für diejenige Funktionsklasse k , in der das neu hinzukommende Funktionselement l einzuordnen ist, ein

Qualifizierungsbedarf nach sequenzieller Vollständigkeit QSV_{slp} definiert. Je geringer der simulierte abgearbeitete Arbeitsinhalt SAI_{skp} der Person p für die Funktionsklasse k , in die das Funktionselement l eingeordnet ist, im Vergleich zum abgearbeiteten Arbeitsinhalt der gesamten Personalstruktur SAI_{sk} ist, desto höher ist der Qualifizierungsbedarf zur Erreichung der sequenziellen Vollständigkeit QSV_{slp} .

4.2.2.2 Strategie der bevorzugten Qualifikationsvereinfachung

Sind die Personaleinsatzkosten zu hoch, werden mit der Strategie der Qualifikationsvereinfachung den Mitarbeitern systematisch Funktionselemente entzogen, da mit jeder Qualifikationsvereinfachung einer Person auch eine Reduzierung ihres Personalstundensatzes verbunden ist (vgl. Formel 3.64). Die Entscheidung, ab welcher Größenordnung Personaleinsatzkosten als zu hoch eingestuft werden, erfolgt wiederum über den Vergleich der Zielerreichungsgrade. Die zielgerichtete Qualifikationsvereinfachung erfolgt dann, wenn der Zielerreichungsgrad Personaleinsatzkosten ZKE_{sn} kleiner ist als der produktionslogistische Zielerreichungsgrad ZPL_{sn} :

$$ZPK_{sn} \leq ZPL_{sn} \quad \text{Bedingung für zielgerichtete Quali-} \quad (4.6)$$

kationsvereinfachung

Analog zu der in Kapitel 4.2.2.1 dargestellten Vorgehensweise erfolgt auch für die Qualifikationsvereinfachung zuerst die Identifikation der in Frage kommenden Funktionselemente (vgl. hierzu Kap. 9.2 im Anhang). Wem das entsprechende Funktionselement zu entziehen ist, wird mit der Berechnung des Vereinfachungswertes VEW_{slp} ermittelt. Diese Berechnung erfolgt wiederum in Anlehnung an HEEL (1999, S. 104 f.). Für die Personalentwicklungsplanung werden die produktionslogistischen und personalbezogenen Kriterien hier wie folgt erweitert:

$$VEW_{slp} = -\left(GVP \cdot VEP_{slp}\right) + GPV \cdot \frac{PAU_{sp}}{100\%} + GAI \cdot \left(1 - \frac{SAI_{slp}}{SAI_{sl}}\right) \quad (4.7)$$

Vereinfachungswert der Person p für das Funktionselement l in der Planungsphase $[s; s+1]$

| | | |
|------|-------------------------|--|
| mit: | GAI | Gewichtungsfaktor für abgearbeiteten Arbeitsinhalt |
| | GPV | Gewichtungsfaktor für Personalauslastung zur Qualifikationsvereinfachung |
| | GVP | Gewichtungsfaktor für Vereinfachungspotenzial |
| | PAU_{sp} | Personalauslastung der Person p in der Planungsphase $[s; s+1]$ (Formel 3.59) |
| | SAI_{slp} | von Person p in der Planungsphase $[s; s+1]$ (simulativ) abgearbeiteter Arbeitsinhalt für Funktionselement l (Formel 3.78) |
| | SAI_{sl} | von der Personalstruktur in der Planungsphase $[s; s+1]$ (simulativ) abgearbeiteter Arbeitsinhalt für Funktionselement l (Formel 3.79) |
| | $VEP_{slp} \in [-1; 0]$ | Vereinfachungspotenzialwert der Person p für Funktionselement in der Planungsphase $[s; s+1]$ (Formel 3.98) |

Dabei gilt:

$$\begin{array}{ll} GAI, GPV, GVP \in [0; 1] & \text{Bedingung für die} \\ GAI + GPV + GVP = 1 & \text{Gewichtungsfaktoren} \end{array} \quad (4.8)$$

Liegen persönliche Restriktionen einer Person für ein Funktionselement l vor, so ist dies ein Grund, das entsprechende Funktionselement dieser Person zu entziehen. Persönliche Restriktionen liegen dann vor, wenn die Bewertung des Entwicklungspotenzials für ein Funktionselement l einen negativen Potenzialwert ausweist. Dieser Wert fließt

als Vereinfachungspotenzial VEP_{slp} in die Berechnung des Vereinfachungswertes ein.

Die zielgerichtete Qualifikationsvereinfachung berücksichtigt wie auch die Qualifikationserweiterung die Personalauslastung PAU_{sp} , allerdings im entgegengesetzten Sinne: Funktionselemente werden bevorzugt Personen mit einer hohen Personalauslastung entzogen, einerseits um zu hohe Personalauslastungen zu vermeiden und andererseits um die Wahrscheinlichkeit einer erhöhten Verfügbarkeit für engpassrelevante Funktionselemente zu erhöhen.

Ein weiteres aus produktionslogistischer Sicht wichtiges Kriterium für die Qualifikationsvereinfachung ist der von Person p (simulativ) abgearbeitete Arbeitsinhalt SAI_{slp} für das Funktionselement l . Einer Person, die für ein bestimmtes Funktionselement l nur einen geringen Arbeitsinhalt aufweist, kann die dafür erforderliche Qualifikation am ehesten entzogen werden. Der von der Personalstruktur (simulativ) abgearbeitete Arbeitsinhalt SAI_{sl} für Funktionselement l dient dabei als Bezugsgröße.

Je nach Zielsetzung der Planung können die Gewichtungsfaktoren sowohl für die Qualifikationserweiterung als auch für die -vereinfachung variiert werden. In den in Kapitel 6 durchgeführten Simulationsstudien werden beispielsweise die Faktoren gleich gewichtet.

4.2.2.3 Zielgerichtete Anpassung der Anzahl Personen einer Personalstruktur

In Abhängigkeit von der für eine Planungsphase modellierten Veränderungen des Erzeugnisprogramms und der Fertigungstechnologien wird neben der qualitativen Anpassung der vorhandenen Personalstruktur u.U. die Beschaffung bzw. Freistellung von Personal notwendig. Der für die quantitative Anpassung einer Personalstruktur entscheidungsrelevante Indikator ist die mittlere Personalauslastung PAU_s der Personalstruktur. Wird eine hierfür definierte obere Interventionsgrenze OIG überschritten, so deutet dies darauf hin, dass die Personalstruktur um eine oder mehrere Personen zu erweitern ist. Entsprechend kann beim Unterschreiten einer unteren Interventionsgrenze UIG die Anzahl Personen im Fertigungssystem reduziert wer-

den. Generell ist die Festsetzung von Interventionsgrenzen schwierig, da hierfür keine allgemeingültigen Werte angegeben werden können.

Die Vorgehensweise wird erstmals bei HEEL (1999, S. 109 ff.) für den einmaligen Umplanungsfall beschrieben. Die entsprechenden Algorithmen zur Erweiterung bzw. Reduzierung der Anzahl Personen werden in Kapitel 9.5 im Anhang dargestellt.

4.3 Generierung alternativer Personalstrukturen

Im Gegensatz zum einmaligen Umplanungsfall, für den mit Hilfe des Sintflutalgorithmus eine heuristisch optimale Personalstruktur ermittelt werden kann, sind hier für sämtliche Planungsphasen weitere Planungsalternativen zu generieren und im nachfolgenden Entwicklungsprozess zu verfolgen.

4.3.1 Plausibilitätsüberlegungen bei der Personalentwicklung

Der Erzeugung alternativer Personalstrukturen liegt die Annahme zugrunde, dass die für eine Planungsphase ermittelte heuristisch optimale Personalstruktur nicht notwendigerweise auch den besten Entwicklungsschritt der Personalstruktur bis zum Ende des Planungshorizontes darstellt. Alternativen ergeben sich somit aus der Fragestellung heraus, welche für eine Planungsphase ermittelte Planungslösung im Rahmen des gesamten Personalentwicklungsprozesses am besten geeignet ist.

So können in Abhängigkeit von der wirtschaftlichen Situation eines Produktionsbetriebes einzelne Zielsetzungen andere dominieren, wobei Planungslösungen begünstigt werden, die von der heuristisch optimalen Personalstruktur abweichen, die ihrerseits eine Kompromisslösung zwischen produktionslogistischen, monetären und personalbezogenen Zielsetzungen verfolgt. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn infolge der wirtschaftlichen Situation kein Spielraum für

Personalentwicklungsmaßnahmen gegeben ist, obwohl eine unzureichende produktionslogistische Zielerreichung auf die Notwendigkeit derartiger Maßnahmen hindeutet. Auch können Kundenvorgaben bei einzelnen Zielsetzungen, wie z.B. die Abarbeitung des vorgegebenen Auftragsprogramms, Planungslösungen herbeiführen, die von der in Kapitel 4.2.1 dargestellten Vorgehensweise zur Erzeugung heuristisch optimaler Lösungen abweichen.

Aus diesen Plausibilitätsüberlegungen werden in den folgenden Kapiteln Algorithmen zur Generierung alternativer Personalstrukturen dargestellt, die im Gegensatz zur heuristisch optimalen Personalstruktur keine Kompromisslösung zwischen produktionslogistischen, monetären und personalbezogenen Zielsetzungen verfolgen, sondern lediglich auf eine dieser Zielsetzungen ausgerichtet sind. Damit werden zum Teil extreme Ausprägungen von Planungslösungen erzeugt, die jedoch für die Aufstellung eines Personalentwicklungsplanes über mehrere Entwicklungsphasen hinweg notwendig werden.

4.3.2 Personalstruktur mit minimalen Personalentwicklungskosten

Um Personalentwicklungskosten zu vermeiden oder zumindest zu reduzieren, können Maßnahmen der Personalentwicklung vorübergehend zurückgestellt werden, auch wenn dabei u.U. eine Verschlechterung der produktionslogistischen Zielerreichungsgrade in Kauf genommen werden muss. Die vorhandene Personalstruktur wird in diesem Fall für nachfolgende Planungsphasen vor dem Hintergrund weiter verfolgt, dass Veränderungen des Fertigungssystems unter Ausnutzung des Flexibilitätpotenzials auch mit dieser Personalstruktur bewältigt werden sollen.

Die Personalstruktur bleibt unverändert, wenn für die betrachtete Planungsphase keine technischen Veränderungen des Fertigungssystems und damit keine neu hinzukommenden Funktionselemente geplant sind. Auch bei steigenden Fertigungsmengen werden für diese

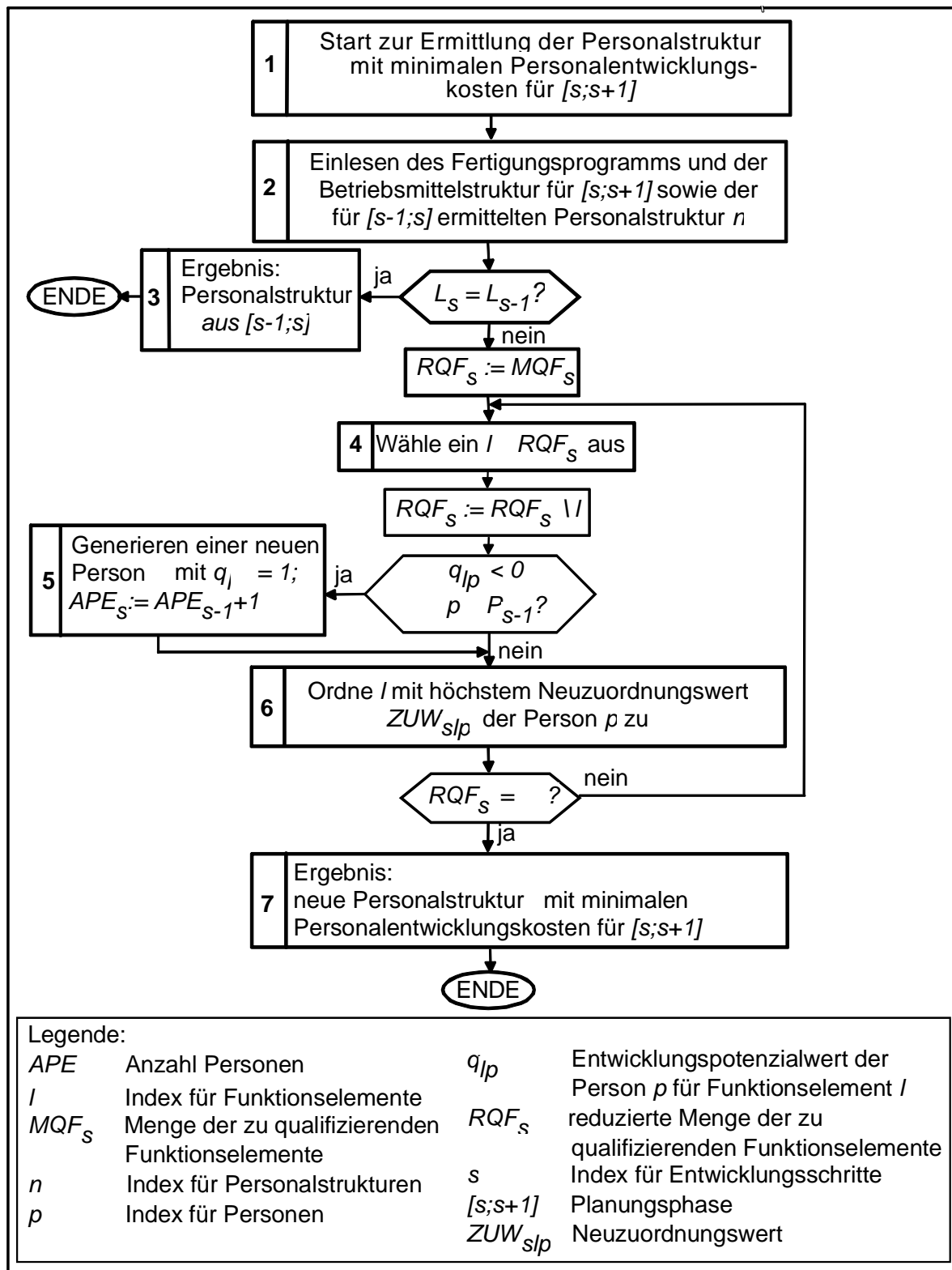


Abb. 4-2: Algorithmus zur Erzeugung einer Personalstruktur \bar{n} mit minimalen Personalentwicklungskosten

Planungslösung keine Personalentwicklungsmaßnahmen umgesetzt. Erst für den Fall, dass zum Entwicklungsschritt s eine neue Fertigungstechnologie eingeführt wird, sind Maßnahmen zur Personalentwicklung vorzunehmen. Damit stellt der Algorithmus in Abbildung 4-2 sicher, dass zumindest ein Mitarbeiter für jedes neu hinzukommende Funktionselement qualifiziert wird und damit die notwendigen personalbedingten Voraussetzungen für die Abarbeitung des Fertigungsprogramms erfüllt sind. Falls die zugrunde gelegte Potenzialbewertung (vgl. Kap. 3.3.4.3) zu dem Ergebnis führt, dass keine Person aus der vorhandenen Personalstruktur für eine Qualifikationserweiterung geeignet ist, so wird eine Person p^* mit $qlp^*=1$ am externen Arbeitsmarkt beschafft.

Die Personalstruktur mit minimalen Personalentwicklungskosten gewährleistet, dass eine Abarbeitung des Auftragsprogramms in der Planungsphase $[s;s+1]$ weiterhin möglich ist. Damit stellt diese Personalstruktur, ungeachtet der produktionslogistischen und monetären Zielsetzungen, eine geeignete Ausgangslösung für die Generierung weiterer Planungsalternativen dar.

4.3.3 Personalstruktur mit verbesserter produktionslogistischer Zielerreichung

Eine weitere Planungsalternative besteht darin, ausgehend von der grundsätzlichen Entscheidung für eine Qualifikationserweiterung Planungslösungen zu generieren, die eine im Vergleich zur vorherigen Planungsphase verbesserte produktionslogistische Zielerreichung aufweisen.

Ausgehend von der Planungslösung mit minimalen Personalentwicklungskosten (gemäß Kap. 4.3.2) wird die Qualifikation des Personals nach der in Kapitel 4.2 beschriebenen Vorgehensweise systematisch erweitert. Falls die Personalauslastung PAU_s eine obere Interventionsgrenze OIG überschreitet, wird die Personalstruktur um weitere Personen erweitert. Die Vorgehensweise zur Erweiterung der Personenzahl lehnt sich an HEEL (1999, S. 110; vgl. Kap. 9-5 im

Anhang) an. Der Algorithmus bricht ab, wenn eine ex ante festgelegte Verbesserung der produktionslogistischen Zielkriterien erreicht wird.

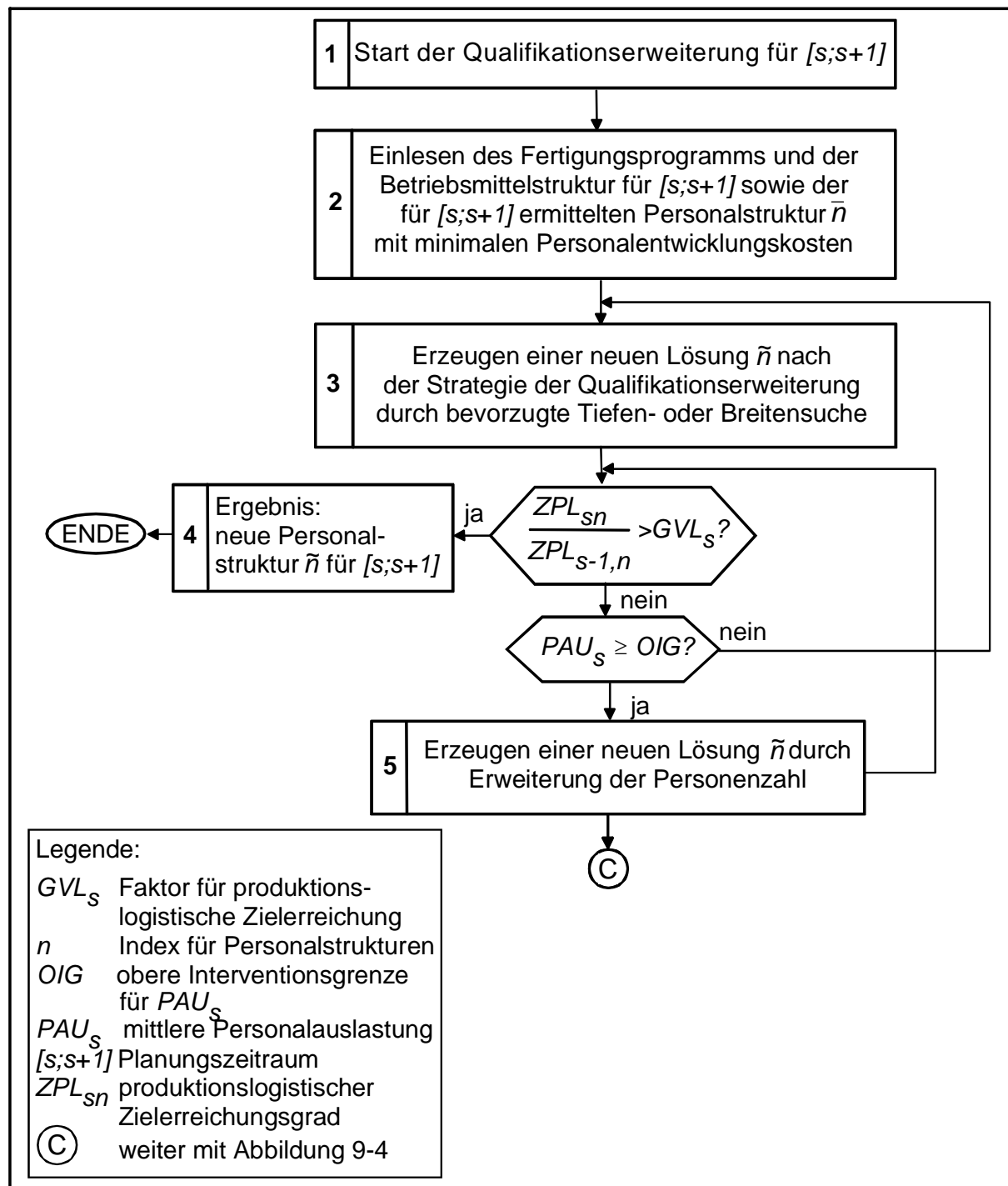


Abb. 4-3: Algorithmus zur Erzeugung einer Personalstruktur \tilde{n} mit verbesserter produktionslogistischer Zielerreichung

Der Grad der Verbesserung der produktionslogistischen Zielerreichung kann wie folgt definiert werden:

$$GVL_s = \frac{ZPL_{sn}}{ZPL_{s-1,n}} \quad \text{Grad der Verbesserung der produktionslogistischen Zielerreichung in der Planungsphase } [s; s+1] \quad (4.9)$$

Die Abbruchbedingung und der Wertebereich werden für GVL_s wie folgt definiert:

$$\frac{ZPL_{sn}}{ZPL_{s-1,n}} > GVL_s \quad \text{Abbruchbedingung für die Verbesserung der produktionslogistischen Zielerreichung} \quad (4.10)$$

$$1 \leq GVL_s \leq \frac{ZPL_{sn}^*}{ZPL_{s-1,n}} \quad \text{Wertebereich des Grads der Verbesserung der produktionslogistischen Zielerreichung} \quad (4.11)$$

mit: ZPL_{sn}^* produktionslogistischer Zielerreichungsgrad bei Universalistenstruktur n^* in der Planungsphase $[s; s+1]$

Hierbei bedeutet $GVL_s=1$ die Vorgabe, dass die produktionslogistischen Zielsetzungen der Planungsphase $[s-1; s]$ auch für die nachfolgende Phase einzuhalten sind. Wird für GVL_s die obere Grenze seines Wertebereichs gesetzt, so wird die produktionslogistische Zielerreichung der Universalistenstruktur n^* eingefordert.

Zur Generierung von Personalstrukturen mit verbesserter produktionslogistischer Zielerreichung ist anzumerken, dass die im Algorithmus vorgenommene Qualifikationserweiterung ungeachtet der Personaleinsatz- und -entwicklungskosten erfolgt. Außerdem ist darauf hinzuweisen, dass die Abbruchbedingung auf einzelne Zielerreichungsgrade, wie z.B. auf den Zielerreichungsgrad Abarbeitungsgrad eingeschränkt werden kann (vgl. hierzu Abb. 9-11 im Anhang). Derartige Planungslösungen sind dann zu favorisieren, wenn konkrete produktionslogistische Vorgaben, wie z.B. bezüglich der Abarbeitung der eingesteuerten Fertigungsaufträge, einzuhalten sind.

4.3.4 Personalstruktur mit reduzierten Personaleinsatzkosten

Besteht in Anbetracht der wirtschaftlichen Situation für einen Produktionsbetrieb die Notwendigkeit zur Reduktion der Personaleinsatzkosten, so sind Maßnahmen zur Qualifikationsvereinfachung umzusetzen. Darüber hinaus wird Personal freigestellt, wenn die Personalauslastung PAU_s eine untere Interventionsgrenze UIG unterschreitet (vgl. hierzu HEEL 1999, S. 112, sowie Kap. 9-5 im Anhang). Der Algorithmus läuft analog zur Verbesserung des produktionslogistischen Zielerreichungsgrades ab. Der Grad der Veränderung für reduzierte Personaleinsatzkosten ergibt sich zu:

$$GRK_s = \frac{ZPK_{sn}}{ZPK_{s-1,n}} \quad \text{Grad der Reduzierung der Personaleinsatzkosten in der Planungsphase } [s;s+1] \quad (4.12)$$

Ein Abbruch des Algorithmus erfolgt, wenn eine Personalstruktur erzeugt wurde, mit der eine ex ante festgelegte Reduzierung der Personaleinsatzkosten erreicht wird. Die Abbruchbedingung und der Wertebereich für GRK_s werden wie folgt definiert:

$$\frac{ZPK_{sn}}{ZPK_{s-1,n}} > GRK_s \quad \text{Abbruchbedingung für die Reduzierung der Personaleinsatzkosten} \quad (4.13)$$

Der Wertebereich zeigt mögliche Vorgaben zur Reduzierung der Personaleinsatzkosten auf:

$$1 \leq GRK_s \leq \frac{ZPK_{sn}^0}{ZPK_{s-1,n}} \quad \text{Wertebereich des Grads der Reduzierung der Personaleinsatzkosten} \quad (4.14)$$

mit: ZPL_{sn}^* produktionslogistischer Zielerreichungsgrad bei kostenorientierter Personalstruktur n^0 in der Planungsphase $[s;s+1]$

Für $GRK_s=1$ gilt, dass in der Planungsphase $[s;s+1]$ keine Reduzierung der Personaleinsatzkosten erreicht wurden.

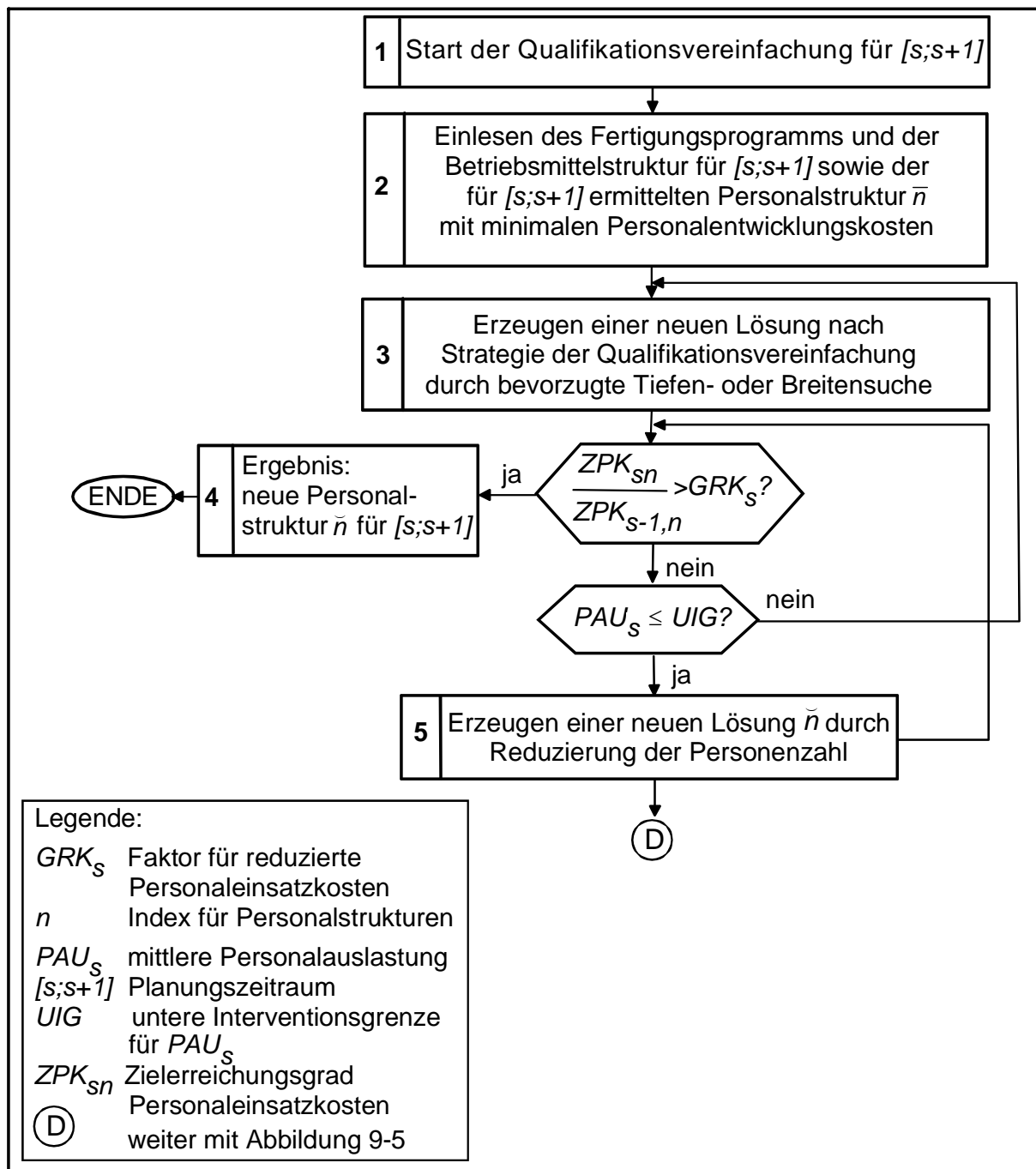


Abb. 4-4: Algorithmus zur Erzeugung einer Personalstruktur \tilde{n} mit reduzierten Personaleinsatzkosten

Erst für $GRK_s > 1$ wurde der Zielerreichungsgrad Personaleinsatzkosten mit Maßnahmen zur Qualifikationsvereinfachung bzw. Frei-

stellung von Personal im Vergleich zur vorhergehenden Planungsphase $[s-1;s]$ verbessert. Wird für GRK_s die obere Grenze seines Wertebereichs gewählt, so wird die Personalstruktur n^0 mit minimalen Personaleinsatzkosten eingefordert (zur Generierung derartiger Planungslösungen vgl. Kap. 3.3.5.2).

4.3.5 Zusammenfassung

Generell sind verschiedene Planungslösungen hinsichtlich ihres Verbesserungspotenzials in nachfolgenden Planungsphasen weiter zu verfolgen. Aus diesem Grund wird mit der Erzeugung alternativer Personalstrukturen eine breite Basis für die Generierung von Personalentwicklungspfaden geschaffen.

| | Alternative Planungslösungen | Personalentwicklungsmaßnahmen | Vorrangige Zielsetzungen | | |
|---|--|---|--------------------------|------------|------------|
| | | | ZPL_{sn} | ZPK_{sn} | ZEK_{sn} |
| \hat{n} | heuristisch optimale Personalstruktur | Qualifikationserweiterung, bzw. -vereinfachung, Personalbeschaffung, bzw. -freistellung | X | X | |
| \bar{n} | Personalstruktur mit minimalen Personalentwicklungskosten | möglichst keine Maßnahmen ggf. Personalbeschaffung, bzw. -freistellung | | | X |
| \tilde{n} oder \check{n} | Personalstruktur mit verbesserter produktionslogistischer Zielerreichung | Qualifikationserweiterung, ggf. Personalbeschaffung | X | | |
| | Personalstruktur mit reduzierten Personaleinsatzkosten | Qualifikationsvereinfachung, ggf. Personalfreistellung | | X | |
| Legende: ZPL_{sn} produktionslogistischer Zielerreichungsgrad ZPK_{sn} Zielerreichungsgrad Personaleinsatzkosten ZEK_{sn} Zielerreichungsgrad Personalentwicklungskosten | | | | | |

Tab. 4-1: Generierung alternativer Personalstrukturen in Abhängigkeit von den verfolgten Zielsetzungen

Um den Simulationsaufwand bei der Generierung und Bewertung von Entwicklungspfaden zu reduzieren und eine übersichtliche Anzahl alternativer Planungslösungen weiter im Verfahren der Personalentwicklung zu verfolgen, ist eine Beschränkung bei der Generierung von Planungsalternativen sinnvoll. Insbesondere für die Generierung von Personalstrukturen mit verbesserter produktionslogistischer Zielerreichung und Personalstrukturen mit reduzierten Personaleinsatzkosten werden in Abhängigkeit von der zugrunde gelegten Zielsetzung eines Produktionsbetriebes pro Planungsphase nur eine der beiden Planungslösungen generiert. Zusammenfassend zeigt Tabelle 4-1 die unterschiedlichen Planungsalternativen auf, die in Abhängigkeit von den Zielsetzungen bevorzugt werden.

4.4 Generierung alternativer Personalentwicklungspfade

4.4.1 Definition von Personalentwicklungspfaden

Welche der Personalstrukturen, die für eine bestimmte Planungsphase $[s;s+1]$ generiert werden, für die Personalentwicklungsplanung bis zum Endezeitpunkt des Planungshorizontes die beste Planungslösung ist, hängt von ihren weiteren Entwicklungsmöglichkeiten und von ihren Zielerreichungsgraden über sämtliche Entwicklungsphasen ab. Vor diesem Hintergrund sind, ausgehend von jeweils einer Planungsalternative aus der Planungsphase $[s-1;s]$ für die folgende Planungsphase $[s;s+1]$ weitere Personalstrukturen abzuleiten. Die Entwicklung einer Personalstruktur n über mehrere Planungsphasen hinweg wird in den folgenden Ausführungen auch als Personalentwicklungspfad bezeichnet. Zur formalen Beschreibung von Personalentwicklungspfaden ist zunächst aus der Indexmenge für alternative Personalstrukturen N_s eine Teilmenge für weiter zu verfolgende Planungslösungen NPL_s zu definieren:

$$NPL_s = \{ n \in N_s / n \text{ ist Planungslösung in } s \} \subseteq N_s \quad (4.15)$$

Indexmenge für weiter verfolgte Planungs-
lösungen in der Planungsphase $[s;s+1]$

Legt man die Annahme zugrunde, dass Personalentwicklungspfade stets bis zum Ende des Planungshorizontes s^* verfolgt werden, lässt sich ein Personalentwicklungspfad wie folgt beschreiben:

$$q_{sn} = \langle n_0, n_1, \dots, n_{s-1}, n_s \rangle, n \in NPL_s \quad (4.16)$$

Personalentwicklungspfad für Personalstruktur
 n bis zum Entwicklungsschritt s

Daraus wird die Indexmenge für Personalentwicklungspfade wie folgt definiert:

$$Q_s = \bigcup_{s \in S} q_{sn} \quad \forall n \in NPL_s \quad (4.17)$$

Indexmenge für Personalentwicklungspfade q
für Personalstrukturen, die bis zum Entwick-
lungsschritt s weiter verfolgt werden

Für Pfade, die ausgehend von einem Entwicklungsschritt s für nachfolgende Planungsphasen $[s;s+1]$ weiter verfolgt werden, gilt die Bedingung:

$$q_{sn} \in Q_s \wedge q_{sn} \in Q_{s+1} \Leftrightarrow \underline{n} \in NPL_s \wedge n \in NPL_{s+1} \quad (4.18)$$

mit: \underline{n} direkter Vorgänger der Personalstruktur n

Legt man die in den Kapiteln 4.3.2 bis 4.3.4 dargestellten drei wesentlichen Planungslösungen zugrunde, so existieren bereits bei einer Planung über drei Planungsphasen hinweg $3^3=27$ alternative Personalentwicklungspfade, die generiert und mit Hilfe der personalorientierten Simulation dynamisch bewertet werden müssen.

Die Vielzahl von Möglichkeiten bei der Generierung alternativer Personalentwicklungspfade zeigt beispielhaft Abbildung 4-5 auf. In diesem Beispiel wird davon ausgegangen, dass zum Entwicklungsschritt $s=1$ bestimmte Personalqualifikationen vorhanden sein müssen. Für den oberen Personalentwicklungspfad wird die Neueinstellung eines Mitarbeiters vorgezogen, die erst zum Entwicklungsschritt $s=2$ infolge einer Erweiterung des Auftragsprogramms unumgänglich würde. Damit wird eine komplette Schulung des neuen Mitarbeiters für Funktionselemente erforderlich, die in $s=1$ und zukünftig in $s=2$ anfallen werden. Für den unteren Personalentwicklungspfad wird in $s=1$ lediglich die Schulung von Mitarbeitern aus der Ausgangspersonalstruktur vorgesehen, eine Neueinstellung wird erst zum Zeitpunkt $s=2$ notwendig. Im Beispiel wird angenommen, dass weitere Personalentwicklungsmaßnahmen erst wieder zum Zeitpunkt $s=3$ erforderlich werden.

Aus dem Beispiel wird ersichtlich, dass die Anzahl Personalentwicklungspfade in Abhängigkeit von den zu berücksichtigenden Entwicklungsschritten explodiert und eine enumerative Vorgehensweise, bei der alle möglichen Planungsalternativen generiert und ausgewertet werden, nicht mehr praktikabel ist. Zur weiteren Reduzierung der Komplexität des Planungsproblems und um eine übersichtliche Anzahl alternativer Planungslösungen weiter im Verfahren der Personalentwicklung zu verfolgen, sollen Planungslösungen, die vergleichsweise schlechte Zielerreichungsgrade aufweisen, aus der weiteren Betrachtung eliminiert werden. Hierfür werden in Kapitel 4.4.2 geeignete Entscheidungsregeln definiert.

Um eine Aussage über den besten Personalentwicklungspfad und damit über die am besten geeignete Planungsalternative treffen zu können, wird in Kapitel 5 eine Vorgehensweise vor gestellt, die aus der Vielzahl möglicher Personalentwicklungspfade denjenigen Pfad auswählt, der im Rahmen der mehrphasigen Personalentwicklungsplanung die beste Gesamtbewertung erzielt. Für die Bewertung eines Personalentwicklungspfades wird dabei zu berücksichtigen sein, dass Entscheidungen der Personalplanung unter dem Einfluss der zeitlichen Nähe der Personalentwicklungsmaßnahmen zum Planungsbeginn in $s=0$ zu treffen sind.

4.4.2 Entscheidungsregeln für den Abbruch eines Personalentwicklungspfades

Für die Menge MER von Entscheidungsregeln für den Abbruch eines Personalentwicklungspfades wird folgender Index definiert:

$$MER = \{x \in IN / x \leq AER\} \quad \text{Index für Entscheidungsregeln für den Abbruch eines Personalentwicklungspfades} \quad (4.19)$$

mit: AER Anzahl Entscheidungsregeln

Die in diesem Kapitel definierten Entscheidungsregeln

$$ERA_x \quad \text{Entscheidungsregel für den Abbruch eines Personalentwicklungspfades} \quad (4.20)$$

gelten in den nachfolgenden Simulationsuntersuchungen unabhängig von bestimmten Zielsetzungen eines Produktionsbetriebes. Weitere Entscheidungsregeln für den Abbruch von Personalentwicklungspfaden sind in Abhängigkeit von den grundlegenden Zielsetzungen eines Produktionsbetriebes zu definieren (zur Definition derartiger Entscheidungsregeln vgl. auch die Formeln 6.12 und 6.15). Bei der Entscheidungsregel ERA_x erfolgt der Abbruch eines Personalentwicklungspfades, wenn der Gesamtzielerreichungsgrad ZEG_{sn} der untersuchten Personalstruktur n kleiner ist, als der Gesamtzielerreichungsgrad der Personalstruktur \bar{n} mit minimalen Personalentwicklungskosten $ZEG_{s\bar{n}}$:

$$ERA_x : q_{sn} \in Q_s \wedge q_{s+1,n} \notin Q_{s+1} \Leftrightarrow \frac{ZEG_{sn}}{ZEG_{s\bar{n}}} \leq GVZ \quad (4.21)$$

mit: $GVZ \in [0;1]$ Wertebereich des Grads der Verschlechterung des Gesamtzielerreichungsgrades
 \bar{n} Personalstruktur mit minimalen Personalentwicklungskosten

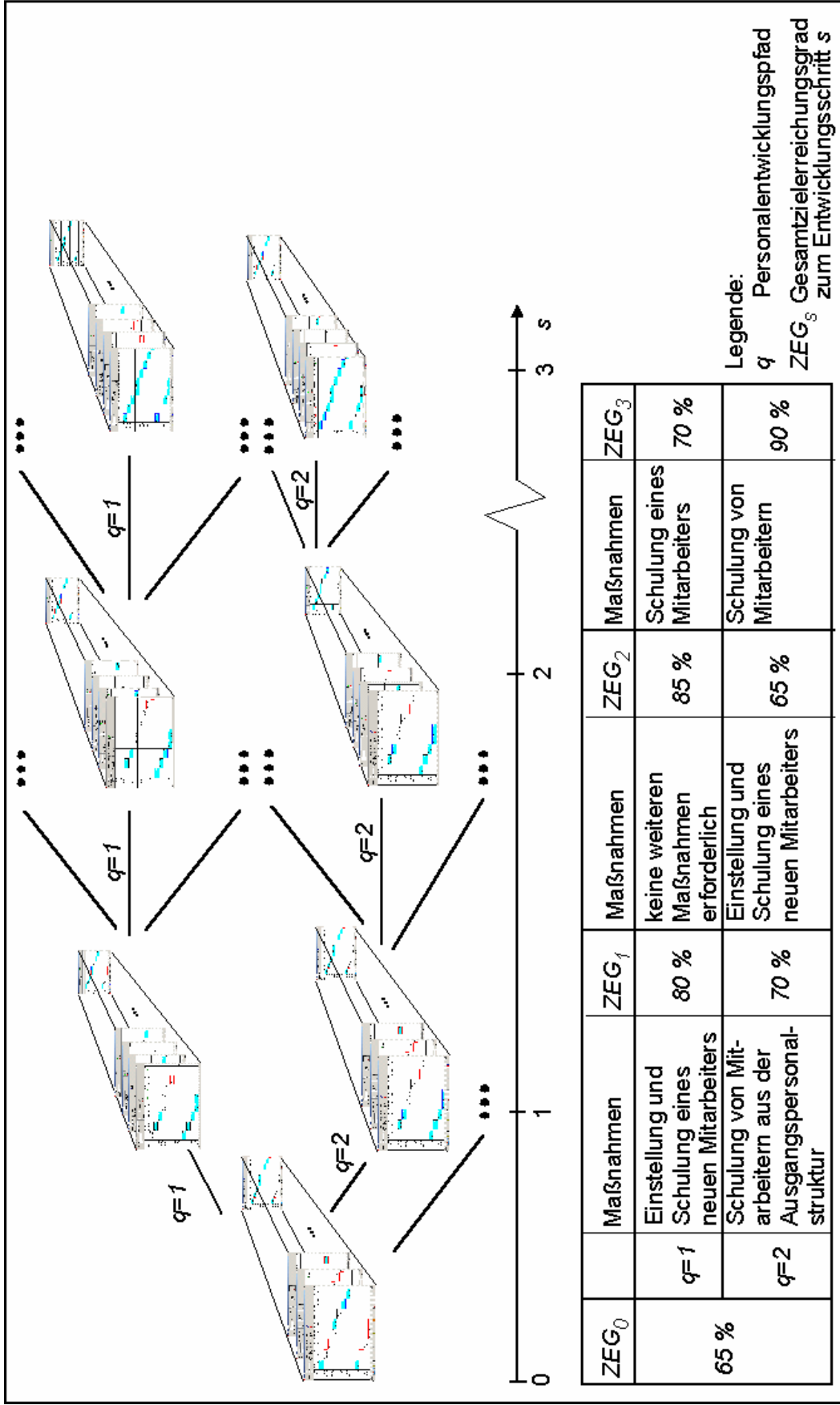


Abb. 4-5: Beispiel für alternative Personalentwicklungspfade

Um nicht alle Planungslösungen für nachfolgende Betrachtungen auszuschließen, deren Gesamtzielerreichungsgrade ZEG_{sn} kleiner sind als der einer Personalstruktur mit minimalen Personalentwicklungskosten, wird für die nachfolgenden Simulationsuntersuchungen für GVZ der Wert 0,95 gewählt. Diese Vorgehensweise stellt sicher, dass insbesondere Personalstrukturen, die angesichts höherer Personalentwicklungskosten im Vergleich zu \bar{n} schlechtere Gesamtzielerreichungsgrade aufweisen, dennoch in nachfolgenden Planungsphasen weiter verfolgt werden.

Auch wird vereinfachend angenommen, dass bei einer Verschlechterung des Gesamtzielerreichungsgrades über zwei Planungsphasen hinweg keine besseren Planungslösungen zu erwarten sind und deshalb derartige Planungslösungen eliminiert werden können. Der Abbruch derartiger Pfade erfolgt jedoch nur unter der Voraussetzung, dass sich die Gesamtzielerreichungsgrade alternativer Pfade in diesen Planungsphasen verbessern. Die dazugehörige Entscheidungsregel ERA_{x+1} wird wie folgt definiert:

$$\begin{aligned} ERA_{x+1} : q_{sn} \in Q_s \wedge q_{s+1,n} \notin Q_{s+1} \\ \Leftrightarrow ZEG_{s-2,\underline{n}} \geq ZEG_{sn} \leq ZEG_{s-1,\underline{n}} \end{aligned} \quad (4.22)$$

mit: \underline{n} direkter Vorgänger der Personalstruktur \underline{n}

4.4.3 Lexikographische Verknüpfung von Entscheidungsregeln

Bei der Auswahl von Entscheidungsregeln wird eine hintereinander geschaltete Anwendung gewählt, die auch als lexikographische Verknüpfung bezeichnet wird (ZÜLCH, 1979, S. 116 ff.). Dieser Ansatz geht davon aus, dass sich die mit der Anwendung einer Entscheidungsregel verbundenen Zielsetzungen hinsichtlich ihrer Wichtigkeit deutlich voneinander unterscheiden. Somit werden bei diesem Verknüpfungsansatz die Entscheidungsregeln nach der Rangfolge ihrer

Zielsetzungen in entsprechender Weise wie eine alphabetische Ordnung von Worten in einem Lexikon festgelegt:

$$LXR = \left\{ \begin{array}{l} ERA_1 \\ ERA_2 \\ \vdots \\ ERA_x \\ \vdots \\ ERA_{AER} \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{lexikographische Verknüpfung von Entscheidungsregeln} \end{array} \quad (4.23)$$

Dabei liegen die Entscheidungsregeln in einer nach ihrer Wichtigkeit geordneten Liste vor:

$$ERA_1 \succ ERA_2 \succ \dots \succ ERA_{AER} \quad \begin{array}{l} \text{Rangordnung der Entscheidungsregeln} \end{array} \quad (4.24)$$

Falls mit der ersten Regel keine Entscheidung für den Abbruch eines Personalentwicklungspfades getroffen werden kann, werden die nachfolgenden Entscheidungsregeln angewendet. Führt keine der definierten Entscheidungsregeln zum Abbruch des Pfades, so sind für diesen Pfad in nachfolgenden Planungsphasen weitere Planungsalternativen zu generieren.

5. Bewertung alternativer Personalentwicklungspfade unter Berücksichtigung der Zeitpräferenz

Dieses Kapitel beschreibt eine Vorgehensweise zur Bewertung von alternativen Personalentwicklungspfaden. Dabei wird die Zielsetzung verfolgt, aus der Menge alternativer Planungslösungen denjenigen Entwicklungspfad auszuwählen, der bis zum Planungshorizont hin die beste Lösung darstellt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass zeitlich entfernt liegende Personalentwicklungsmaßnahmen nicht notwendigerweise mit derselben Gewichtung in die Gesamtbewertung einfließen sollen, wie Maßnahmen, die unmittelbar zu Beginn der Planung umgesetzt werden müssen.

Da im Rahmen der Investitionsrechnung derartige zeitliche Präferenzen bei der Auswahl von Investitionsalternativen ebenfalls eine Rolle spielen, werden in Kapitel 5.1 dynamische Verfahren der Investitionsrechnung vorgestellt. Die Anpassung eines geeigneten Verfahrens aus der Investitionsrechnung an die Problemstellung der Personalentwicklungsplanung ist in Kapitel 5.2 dargestellt. Die Auswahl des besten Personalentwicklungspfades erfolgt in Analogie zur Investitionsrechnung. In einem abschließenden Schritt werden die erforderlichen Einzelmaßnahmen im Rahmen eines mehrphasigen Personalentwicklungsplanes geordnet nach Zeitfenster, Zielgruppe, Inhalt sowie Kosten der Maßnahmen dargestellt.

5.1 Verfahren aus der Investitionsrechnung

5.1.1 Zahlungsreihe einer Investition

Im Rahmen der Investitionsrechnung wird u.a. die Zielsetzung verfolgt, aus sich gegenseitig ausschließenden Investitionsprojekten das vorteilhafteste Projekt auszuwählen (BLOHM, LÜDER 1995, S. 49). Investitionen unterscheiden sich durch ihre Zahlungsreihen. Jede Zahlungsreihe beginnt üblicherweise mit einer Anschaffungsausgabe und verursacht über den gesamten Planungshorizont Aus- und Einzahlungen (KRUSCHWITZ 1998, S. 3):

$$ZRE = (-A_0; E_1 - A_1; \dots; E_t - A_t; \dots; E_{t^*} - A_{t^*}) \quad (5.1)$$

Zahlungsreihe einer Investition

| | | |
|------|-------------------|---|
| mit: | A_0 | Anschaffungsausgabe zum Zeitpunkt t_0 |
| | E_t | Einzahlungen zum Zeitpunkt t |
| | A_t | Auszahlungen zum Zeitpunkt t |
| | $D_t = E_t - A_t$ | Rückfluss zum Zeitpunkt t |
| | t^* | Endezeitpunkt des Planungshorizontes |
| | t_0 | Startzeitpunkt des Planungshorizontes |

Im Gegensatz zu den statischen Methoden der Investitionsrechnung, die keinen Unterschied bei der Bewertung einer sofortigen Zahlung gegenüber einer später anfallenden gleich hohen Zahlung machen, zeichnen sich dynamische Verfahren dadurch aus, dass die Zahlungsreihe einer Investition durch Multiplikation mit einem Abzinsungsfaktor auf den Beginn der Zahlungsreihe t_0 transformiert wird. Grundlage der dynamischen Investitionsrechnung ist hierbei die Zeitpräferenz, die ausdrückt, dass eine Zahlung umso weniger wert ist, je später der Zahlungszeitpunkt liegt; entsprechend sind Zahlungen umso vorteilhafter, je früher deren Zahlungszeitpunkte liegen (BETGE 2000, S. 42 f.). Aus diesem Grund werden statische Verfahren nicht näher betrachtet.

Übertragen auf die Problemstellung der Personalentwicklungsplanung lassen sich die für eine Planungsphase $[s; s+1]$ ermittelten Gesamtziel-erreichungsgrade ZEG_s als Rückflüsse D_t einer Zahlungsreihe für den Zeitpunkt t interpretieren. Da im Rahmen der Investitionsrechnung von äquidistanten Zahlungsreihen ausgegangen wird, muss folgende Bedingung erfüllt sein, damit von einer Äquidistanz der Entwicklungsschritte s ausgegangen werden kann:

$$t_s - t_{s-1} = INT \quad \forall s \in [1; s^*] \quad \begin{array}{l} \text{Bedingung für äquidistante} \\ \text{Zeitpunkte} \end{array} \quad (5.2)$$

mit: INT konstante Dauer der Planungsphasen

Zur Wahrung der üblichen Schreibweise in der Investitionsrechnung wird in den nachfolgenden Formeln der Ausdruck t verwendet (zur Überführung der Entwicklungsschritte s in äquidistante Zeitpunkte t vgl. Abb. 5-1).

5.1.2 Dynamische Verfahren der Investitionsrechnung

Üblicherweise werden für die dynamische Investitionsrechnung die Kapitalwertmethode, die Annuitätenmethode oder die Interne-Zinsfuß-Methode eingesetzt (WARNECKE u.a. 1996, S. 77 ff.; KRUSCHWITZ 1998, S. 40 ff.). Die Kapitalwertmethode ermittelt den Kapitalwert einer Investition als Summe aller mit einem vorgegebenen Kalkulationszinsfuß i auf den Zeitpunkt t_0 abgezinsten Zahlungen (BETGE 2000, S. 43 f.), wobei die Annahme zugrunde gelegt wird, dass alle Zahlungen mit Ausnahme von A_0 am Ende einer Periode anfallen:

$$C_0 = -A_0 + \sum_{t=1}^{t^*} D_t (1+i)^{-t} \quad \text{Kapitalwert} \quad (5.3)$$

mit: i vorgegebener Kalkulationszinsfuß

Eine ähnliche Vorgehensweise verfolgt die Annuitätenmethode, wobei unter der Annuität eine Reihe gleich hoher Zahlungen verstanden wird, die in jeder Periode der gesamten Planungsphase anfallen (GÖTZE, BLOECH 1995, S. 87 f.). Die Annuität eines Investitionsprojektes kann berechnet werden, indem der Kapitalwert mit dem Wiedergewinnungsfaktor

$$WFA = \frac{(1+i)^{t^*} \cdot i}{(1+i)^{t^*} - 1} \quad \text{Wiedergewinnungsfaktor} \quad (5.4)$$

multipliziert wird:

$$ANU = C_0 \cdot WFA \quad \text{Annuität} \quad (5.5)$$

Wie aus der oben angegebenen Formel abgeleitet werden kann, führt die Annuitätenmethode bei gleicher Nutzungsdauer der betrachteten Investitionsprojekte zum gleichen Resultat wie die Kapitalwertmethode. Ein Vorteil der Annuitätenmethode gegenüber der Kapitalwertmethode ist lediglich in Bezug auf ihre Interpretierbarkeit zu sehen. So stellt die Annuität einen durchschnittlichen abgezinsten Rückfluss pro Periode dar und ist somit leichter zu interpretieren als der Kapitalwert (GÖTZE, BLOECH 1995, S. 90). Da die im Rahmen der Personalentwicklungsplanung zu bewertenden Zielgrößen nicht als monetäre Rückflüsse interpretiert werden können, ergibt sich für die Annuitätenmethode bei der Übertragung auf die Personalentwicklungsplanung kein Vorteil gegenüber der Kapitalwertmethode.

Zur Bewertung der Vorteilhaftigkeit einer Investition gegenüber anderen Investitionsalternativen wird weiterhin die Methode des internen Zinsfußes eingesetzt (HEINHOLD 1994, S. 96; BLOHM, LÜDER 1995, S. 88 ff.). Die Interne-Zinsfuß-Methode bestimmt den Zinsfuß z der Zahlungsreihe, für den der Kapitalwert C_0 Null wird:

$$C_0 = 0 = -A_0 + \sum_{t=1}^{t^*} D_t \cdot (1+z)^{-t} \quad \text{Bedingung für den internen Zinsfuß} \quad (5.6)$$

mit: z interner Zinsfuß

Da exakte Lösungsverfahren zur Bestimmung des internen Zinsfußes relativ aufwändig sind, werden Näherungsverfahren, wie z.B. die lineare Interpolation, das Sekantenverfahren oder das Tangentenverfahren zur Lösung eingesetzt (vgl. hierzu z.B. BETGE 2000, S. 58). Ein Investitionsprojekt wird bevorzugt, wenn sein interner Zinsfuß größer ist als der eines jeden der anderen zur Wahl stehenden Projekte (GÖTZE, BLOECH 1995, S. 91). Eine Schwachstelle der Internen-Zinsfuß-Methode liegt in der Interpretierbarkeit des Ergebnisses. Insbesondere für Investitionen, deren Zahlungsreihen mehrere Vorzeichenwechsel aufweisen, können verschiedene interne Zinsfüße ermittelt werden (KRUSCHWITZ 1998, S. 90).

5.2 Anpassung der Kapitalwertmethode an die mehrphasige Personalentwicklungsplanung

Da im Rahmen der Bewertung alternativer Personalentwicklungspfade die Gesamtzielerreichungsgrade ZEG_s als Kapitalrückflüsse interpretiert werden, lässt sich keine Anschaffungsausgabe A_0 im Sinne der Investitionsrechnung angeben. Aus diesem Grund können keine negativen Werte ermittelt werden; folglich existiert kein Vorzeichenwechsel der Zahlungsreihe und somit kein interner Zinsfuß, für den der Kapitalwert Null wird. Daher wird in den folgenden Ausführungen die Interne-Zinsfuß-Methode nicht weiter betrachtet und die Kapitalwertmethode für die Bewertung alternativer Personalentwicklungspfade unter Berücksichtigung der Zeitpräferenz ausgewählt. Da für alle Personalentwicklungspfade der Gesamtzielerreichungsgrad in der Ausgangssituation ZEG_0 gleich ist, ist er für die nachfolgende Bewertung ohnehin nicht entscheidungsrelevant.

Bei der Kapitalwertmethode wird diejenige Investitionsalternative ausgewählt, die gegenüber allen anderen zur Wahl stehenden Alternativen den höchsten Kapitalwert aufweist. Diese Vorgehensweise wird in den folgenden Ausführungen auf die Problematik bei der Auswahl eines geeigneten Personalentwicklungspfades übertragen. In der vorliegenden Problemstellung werden allerdings keine monetären

Zahlungsreihen betrachtet, sondern Gesamtzielerreichungsgrade, mit denen Personalstrukturen in jeder Planungsphase zusammenfassend bewertet werden (zur Bewertung von Einzelzielerreichungsgraden und deren Zusammenfassung zu einen Gesamtzielerreichungsgrad ZEG_s vgl. Kap. 3.3.5.4). Liegen mehrere Planungslösungen vor, so existieren alternative Personalentwicklungspfade mit unterschiedlich hohen Gesamtzielerreichungsgraden. Überträgt man die dynamische Investitionsrechnung hierauf, so werden die Gesamtzielerreichungsgrade der einzelnen Zeitpunkte als Zahlungsreihen interpretiert.

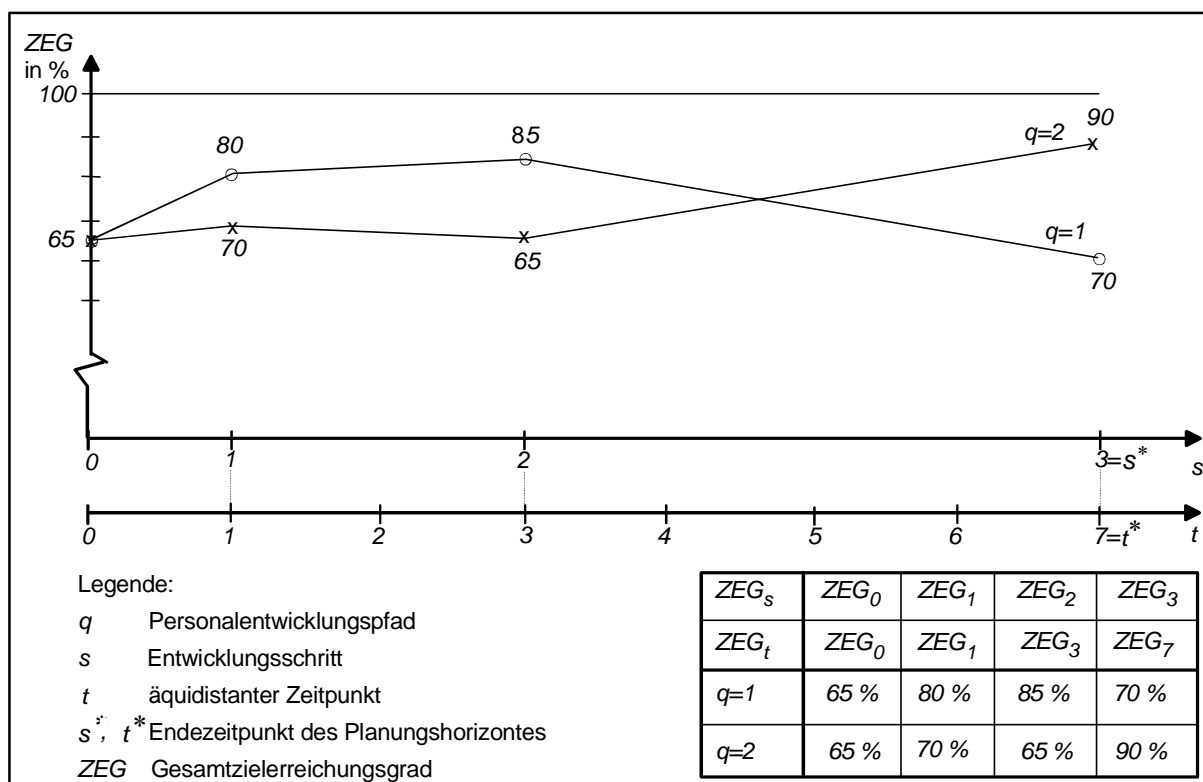


Abb. 5-1: Überführung der Entwicklungsschritte s in äquidistante Zeitpunkte t

Die Vorgehensweise bei der Überführung von Entwicklungsschritten s in äquidistante Zeitpunkte t soll an einem Beispiel verdeutlicht werden. Hierzu sind in Abbildung 5-1 zwei Personalentwicklungspfade q dargestellt, für die in Abhängigkeit von den Entwicklungsschritten s verschiedene Gesamtzielerreichungsgrade simulativ ermittelt wurden (Zahlenwerte wie in Abb. 4-5). Die Überführung der Entwicklungsschritte s in eine äquidistante Zeitreihe berücksichtigt die Zeitdauer

zwischen den einzelnen Planungszeitpunkten. So gilt für den Endezeitpunkt des Planungshorizontes, der als Entwicklungsschritt mit dem Wert $s=3$ gekennzeichnet ist, der Wert $t_3=7$. Der dazu gehörige Gesamtzielerreichungsgrad ZEG_s fließt daher bei der Berechnung des abgewerteten Gesamtzielerreichungsgrades als ZEG_7 ein und wird entsprechend mit dem Faktor $(1+i)^{-7}$ multipliziert. Weiterhin wird für die Berechnung vereinfachend angenommen, dass für Zeitpunkte t , an denen keine Entwicklungsschritte vorhanden sind, für den Gesamtzielerreichungsgrad der Wert $ZEG_t=0$ definiert wird. Wie bereits erwähnt, existiert im Rahmen der mehrphasigen Bewertung alternativer Personalentwicklungspfade keine Anschaffungsausgabe A_0 . Demnach ergibt sich der abgewertete Gesamtzielerreichungsgrad ZAB_q für einen Personalentwicklungspfad q zu:

$$ZAB_q = \sum_{t=1}^{t^*} ZEG_{tn} \cdot (1+i)^{-t} \quad \begin{array}{l} \text{abgewerteter Gesamtziel-} \\ \text{erreichungsgrad für den} \\ \text{Personalentwicklungspfad } q \end{array} \quad (5.7)$$

mit: ZEG_{tn} Gesamtzielerreichungsgrad der Personalstruktur n in der Planungsphase $[t;t+1]$
 i vorgegebener Abwertungssatz

Im Rahmen der mehrphasigen Personalentwicklungsplanung wird derjenige Personalentwicklungspfad q ausgewählt, der bei vorgegebenem Abwertungssatz i den höchsten abgewerteten Gesamtzielerreichungsgrad ausweist. Die Entscheidungsregel wird wie folgt definiert:

$$q^* \succ q : ZAB_{q^*} > ZAB_q \quad \begin{array}{l} \text{Entscheidungsregel für die} \\ \text{Auswahl des Personalent-} \\ \text{wicklungspfades } q^* \text{ mit} \\ \text{höchstem abgewerteten} \\ \text{Gesamtzielerreichungsgrad} \end{array} \quad (5.8)$$

Im Beispiel aus Abbildung 5-1 ist dies bei einem Abwertungssatz von $i=0,1$ für $q=1$ der Fall, da folgende abgewertete Gesamtzielerreichungsgrade berechnet werden:

$$ZAB_1 = \frac{80}{1,1} + \frac{85}{1,1^3} + \frac{70}{1,1^7} = 173$$

$$ZAB_2 = \frac{70}{1,1} + \frac{65}{1,1^3} + \frac{90}{1,1^7} = 159$$

abgewertete Gesamtziel-
erreichungsgrade für die
Personalentwicklungspfade
 $q=1$ und $q=2$ in Abb. 5-1 (5.9)

Für die in Kapitel 6 dargestellten Anwendungsbeispiele wird ein Abwertungssatz von 0,01 angenommen. Dieser Abwertungssatz liegt unter den üblicherweise im Rahmen der Investitionstheorie vorgegebenen Zinsfuß; der monetäre Kalkulationszinsfuß der Investitionsrechnung ist jedoch nicht vergleichbar mit dem hier verwendeten Abwertungssatz, der die Zeitpräferenz personeller Maßnahmen nutzwertartig zum Ausdruck bringen soll. Generell ist anzumerken, dass hierfür im Rahmen der Berechnung von abgewerteten Gesamtzielerreichungsgraden keine Erfahrungswerte für Abwertungssätze vorhanden sind.

5.3 Mehrphasiger Personalentwicklungsplan

Steht die Entscheidung für einen bestimmten Personalentwicklungspfad q^* fest, so wird hierfür ein Personalentwicklungsplan aufgestellt. Dieser enthält neben den Zeitfenstern der Einzelmaßnahmen auch Zielgruppe, Inhalt sowie Kosten der Maßnahmen.

5.3.1 Zielgruppe

Welcher Personaltyp für welche Personalentwicklungsmaßnahme in Frage kommt, wird anhand der Simulationsergebnisse für die jeweilige Personalstruktur n_s ermittelt. Die Vorgehensweise wurde bereits in Kapitel 4 beschrieben. Bei der Festlegung der Zielgruppe spielen neben den wirtschaftlichen und technologischen Notwendigkeiten auch persönliche Entwicklungspotenziale eine Rolle.

Die Modellierung derartiger Entwicklungspotenziale wurde in Kapitel 3.3.4.3 dargestellt. Werden persönliche Entwicklungspotenziale einbezogen, so weist der Personalentwicklungsplan anstelle des Personaltyps die konkreten Personen aus, für die eine entsprechende Entwicklungsmaßnahme durchgeführt werden soll.

5.3.2 Inhalt der Personalentwicklungsmaßnahmen

Bezüglich der Art der qualitativen Personalentwicklung kann in Maßnahmen der inner- und außerbetrieblichen Weiterbildung für Funktionen und in Unterweisungen am Arbeitsplatz für einzelne Funktionselemente unterschieden werden (vgl. Kap. 2.1.2). Im Falle einer Unterweisung ist die Angabe der zu qualifizierenden Funktionselemente erforderlich. Für die inner- und außerbetriebliche Weiterbildung können neben den zu vermittelnden Funktionen auch zu vermittelnde allgemeine Lehrinhalte angegeben werden. Häufig bieten Institutionen der beruflichen Weiterbildung, wie z.B. Bildungszentren der Industrie- und Handelskammern, allgemeinere Themen an, wie z.B. NC-Programmierung. Um betriebsnah weiterzubilden ist zu prüfen, ob die Vermittlung von Lehrinhalten auch über betriebliche Schulungsmaßnahmen durch erfahrene Kollegen stattfinden kann (vgl. z.B. TUBUSMETALL u.a. 1995, S. 181).

Neben der Entscheidung für eine betriebsinterne oder -externe Weiterbildung ist zu prüfen, ob die einzelnen Personalentwicklungsmaßnahmen gebündelt werden können. Beispielsweise könnten Maßnahmen der Qualifikationserweiterung vorgezogen werden, die eigentlich erst zu einem späteren Zeitpunkt erforderlich werden. Dadurch können Mitarbeiter in kompakten Weiterbildungskursen geschult werden, womit mehrmalige Schulungsmaßnahmen, die u.U. zeitlich aufwändiger wären, entfallen. Die Abstimmung muss im Einzelfall in Kooperation mit den Anbietern von Schulungsmaßnahmen erfolgen, sodass hier auf eine weitere Darstellung verzichtet werden muss. Generell steht im Rahmen der vorliegenden Arbeit die Generierung eines geeigneten Personalentwicklungsplans im Vordergrund, die Art

der Umsetzung von Personalentwicklungsmaßnahmen wird somit nicht näher betrachtet.

5.3.3 Personalentwicklungskosten

In Kapitel 3.3.3.2 wurden bereits die von Art und Umfang der Personalentwicklungsmaßnahmen abhängigen Kosten beschrieben. Die Höhe der Kosten richtet sich bei der qualitativen Personalentwicklung nach Inhalt und zeitlichem Umfang der Weiterbildungsmaßnahmen. Für die Berechnung derartiger Kosten wurde eine entsprechende Berechnungsvorschrift im Simulationsverfahren *ESPE-PE* implementiert. Für die quantitative Personalentwicklung sind die Kosten für Personalbeschaffung und -freistellung für jeden Einzelfall gesondert anzugeben.

5.3.4 Festlegung der Zeitfenster für Personalentwicklungsmaßnahmen im Technologiekalender

Sobald der zeitliche Umfang einer Qualifizierungsmaßnahme festgelegt und ggf. mit dem externen Anbieter terminlich abgestimmt ist, erfolgt die Eingrenzung des Personalentwicklungsfensters im Technologiekalender. Der spätestmögliche Abschluss einer Qualifizierungsmaßnahme ist durch die Angabe des zugehörigen Entwicklungsschrittes im Erzeugnis- und Fertigungstechnologiesektor festgelegt. Da die Qualifizierungsmaßnahmen zu den betreffenden Entwicklungsschritten erfolgt sein müssen, ist die genaue Bestimmung eines frühestmöglichen Endzeitpunktes der Qualifizierungsmaßnahme nicht erforderlich, da vereinfachend davon ausgegangen werden kann, dass jeweils die zeitliche Länge eines Zeitfensters zur Umsetzung der Qualifizierungsmaßnahmen ausreichend ist. Die Festlegung des spätestmöglichen Starttermins erfolgt durch Rückwärtsterminierung der Dauer der Maßnahme.

Als frühestmöglicher Starttermin kann der Entwicklungsschritt $s=0$ angegeben werden (vgl. hierzu auch Abb. 2-2 in Kap. 2.1.1). Die

zeitliche Ausdehnung des Zeitfensters vom Beginn der Planung bis zum Zeitpunkt des Abschlusses der Maßnahme ermöglicht den größtmöglichen Spielraum bei der zeitlichen Abstimmung einzelner Personalentwicklungsmaßnahmen. In Abbildung 5-2 wird zur Veranschaulichung neben dem Zeitfenster [1,3] für eine Einzelmaßnahme auch deren Zielgruppe, Inhalte sowie Kosten beispielhaft dargestellt.

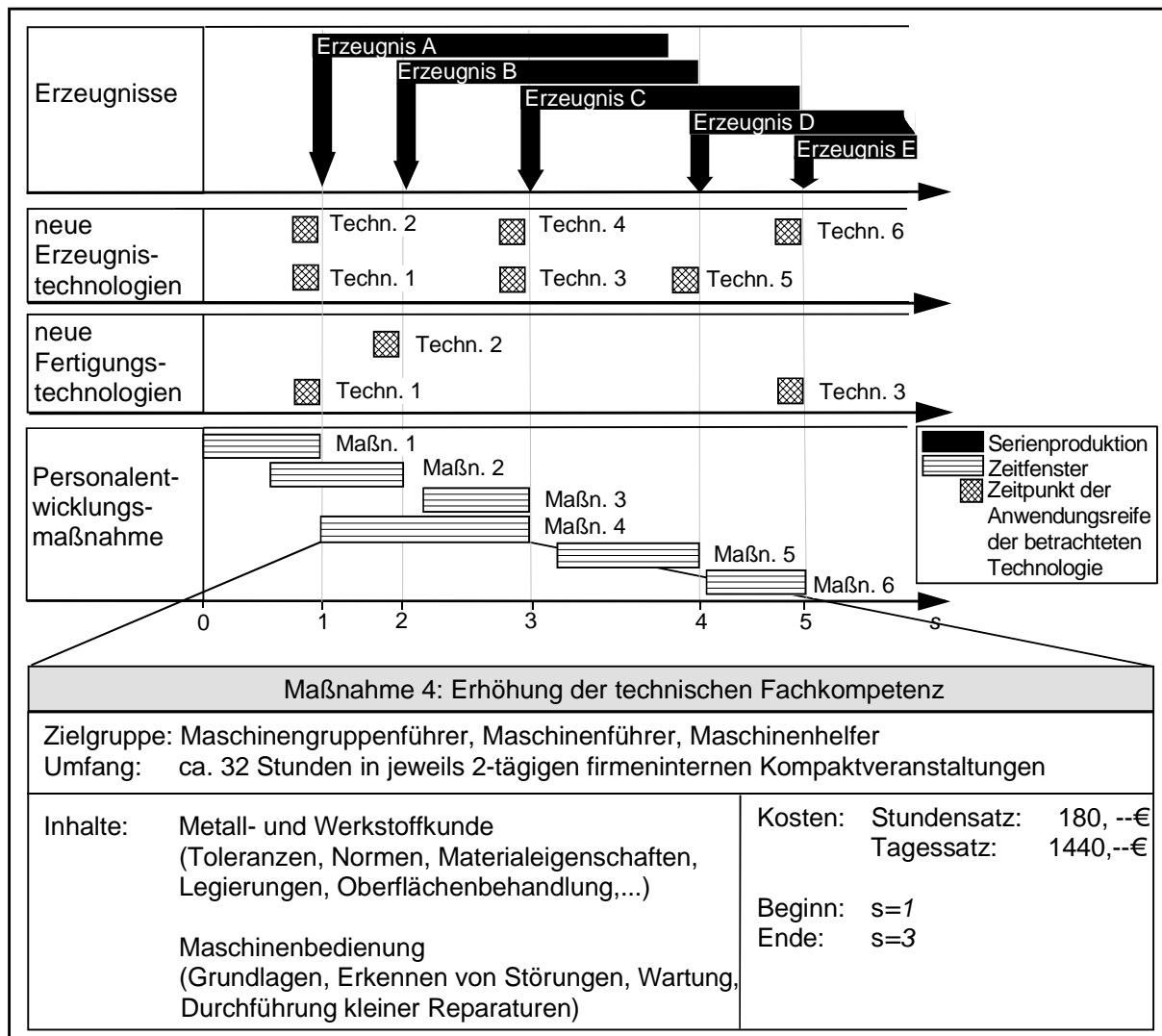


Abb. 5-2: Beispiel für einen Technologiekalender mit Personalentwicklungsfenstern und -maßnahmen

6. Einsatz des entwickelten Verfahrens in Anwendungsbeispielen

Um die Funktionsweise des entwickelten Verfahrens *ESPE-PE* zu demonstrieren, werden zwei Anwendungsbeispiele vorgestellt, die bezüglich der Personalentwicklung unterschiedliche Zielsetzungen verfolgen: Im ersten Anwendungsbeispiel plant ein metallverarbeitendes Unternehmen eine Neuausrichtung seines Erzeugnisprogramms und will diesen Veränderungsprozess mit seiner vorhandenen Personalstruktur bewerkstelligen. Das zweite Anwendungsbeispiel bezieht sich auf einen Automobilzulieferer, der die Einführung neuer Varianten mit einer neuen Fertigungstechnologie plant. Hier stehen Fragestellungen der Personalbeschaffungsplanung sowie der betrieblichen Weiterbildung im Vordergrund.

6.1 Prognose der Personalentwicklung für ein metallverarbeitendes Unternehmen

6.1.1 Ausgangssituation des Fertigungssystems

Das erste Fallbeispiel betrifft ein metallverarbeitendes Unternehmen, das die Neuausrichtung seines Erzeugnisprogramms plant, um am Markt langfristig wettbewerbsfähig bleiben zu können. Dies bedeutet, dass sich das Unternehmen von Erzeugnissen, die nur einen geringen Beitrag zur Wertschöpfung leisten, langfristig trennen will. Gleichzeitig soll der Anteil von Erzeugnissen mit aufwändigen Bearbeitungsschritten, für die am Markt kostendeckende Preise erzielt werden können, erhöht werden. Zur Identifikation der Erzeugnisse erfolgt eine Einteilung in Erzeugnisklassen e :

$$E = \{e \in IN / e \leq AEK\} \quad \begin{array}{l} \text{Indexmenge und Index für} \\ \text{Erzeugnisklassen} \end{array} \quad (6.1)$$

mit: AEK Anzahl Erzeugnisklassen

Für das Unternehmen werden folgende Erzeugnisklassen festgelegt:

$$e = \begin{cases} 1 \dots \text{hochkomplexe Erzeugnisse} \\ 2 \dots \text{komplexe Erzeugnisse} \\ 3 \dots \text{geringfügig komplexe Erzeugnisse} \\ 4 \dots \text{geometrisch einfache Erzeugnisse} \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{Erzeugnis-} \\ \text{klasse} \end{array} \quad (6.2)$$

Die Erzeugnisklassen $e=1$ und $e=2$ umfassen kubische Erzeugnisse, die komplex bis hochkomplex sind. Die Herstellung dieser Erzeugnisse ist zeitaufwändig, aber dennoch für das Unternehmen wirtschaftlich attraktiv. Die Erzeugnisklassen $e=3$ und $e=4$ hingegen repräsentieren geometrisch einfache und geringfügig komplexe Erzeugnisse, deren Bearbeitung zum Teil nicht kostendeckend ist. In Anlehnung an Formel (3.29) gilt für Fertigungsaufträge der Erzeugnisklasse e folgende Indexmenge:

$$J_{se} = \{j \in J_s / j \text{ ist } e \text{ zugeordnet}\} \quad (6.3)$$

Indexmenge für Fertigungsaufträge der Erzeugnisklasse e in der Planungsphase $[s; s+1]$

Das Fertigungssystem umfasst 34 Betriebsmittel, die sich in vier Segmente einteilen lassen (vgl. Abb. 6-1). Investitionen in neue Technologien sind derzeit nicht vorgesehen. Die Fertigung erfolgt im Zweischicht-Betrieb, wobei planmäßig pro Schicht 22 Personen eingesetzt werden. Zum Einsatz kommen überwiegend Facharbeiter, die in der Regel für bestimmte Betriebsmitteltypen, wie z.B. CNC-Bearbeitungszentren oder CNC-Drehmaschinen, qualifiziert sind.

Das in der Ausgangssituation vorliegende Fertigungsprogramm von einem Monat umfasst ca. 800 Fertigungsaufträge mit einer gesamten Fertigungsmenge m_s von ca. 50.000 Erzeugnissen. Der Anteil der

Erzeugnisklasse $e=3$ ist mit 70 % am höchsten, der Anteil der Erzeugnisklasse $e=1$ beträgt in der Ausgangssituation lediglich 2 %. Bei stochastisch verteilten Umfeld- und Instandhaltungsaufgaben wird ein Zeitaufwand veranschlagt, dessen zeitlicher Anteil an der Betriebsmittelauslastung je nach Betriebsmitteltyp zwischen 5 % und 15 % beträgt.

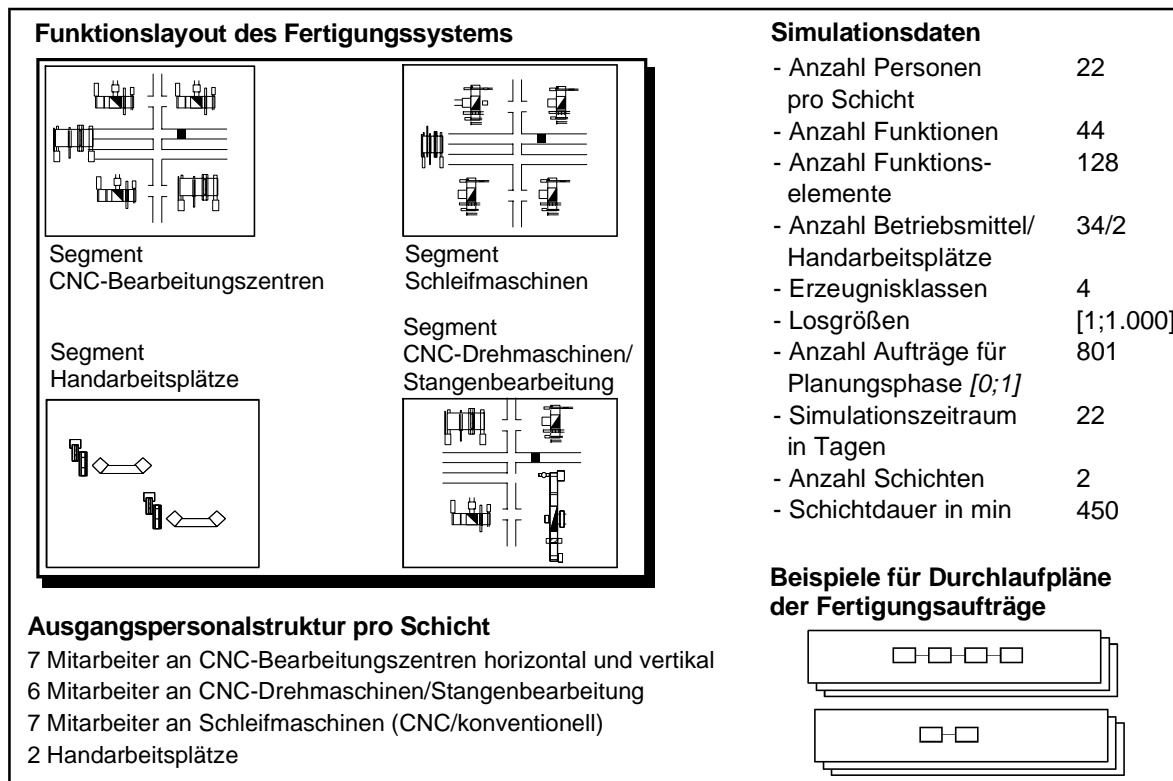


Abb. 6-1: Ausgangssituation im Fertigungssystem

Das Unternehmen ist in der Ausgangssituation mit der Fragestellung konfrontiert, inwieweit die geplanten Veränderungen des Auftragsprogramms mit den vorhandenen personellen Ressourcen umgesetzt werden können. Aufgrund der wirtschaftlichen Situation des Unternehmens sind derzeit keine Möglichkeiten für Neueinstellungen gegeben. Auch ist der Spielraum für betriebliche Weiterbildungsmaßnahmen sehr begrenzt.

6.1.2 Szenarien für die Entwicklung der Fertigungsmengen

Zur Darstellung der zukünftigen Entwicklung der Fertigungsmengen werden in Absprache mit den Planungsverantwortlichen des Unternehmens Szenarien entworfen, die mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit eintreffen und dazu Anlass geben können, die Personalentwicklungsplanung zur Vorbereitung auf unterschiedliche Entwicklungen voranzubringen. Zur Modellierung der Entwicklung von Fertigungsmengen lassen sich Fertigungsmengen m_j in Abhängigkeit von der Planungsphase $[s;s+1]$ für die Erzeugnisklasse e wie folgt darstellen:

$$m_{se} = \sum_{j \in J_{se}} m_j \quad \text{Fertigungsmenge der Erzeugnisklasse } e \text{ in der Planungsphase } [s;s+1] \quad (6.4)$$

Die Fertigungsmenge aller Fertigungsaufträge in einer Planungsphase ergibt sich daraus zu:

$$m_s = \sum_{e \in E} m_{se} \quad \text{gesamte Fertigungsmenge in der Planungsphase } [s;s+1] \quad (6.5)$$

Für die Entwicklung der Fertigungsmengen der vier Erzeugnisklassen wird ein kontinuierlicher Entwicklungsverlauf unterstellt: So wird für die Erzeugnisklassen $e=1$ und $e=2$ eine konstante Zunahme, für die Erzeugnisklassen $e=3$ und $e=4$ eine konstante Abnahme der zu fertigenden Erzeugnisse angenommen. Da die Planungsverantwortlichen weder von einer Erweiterung noch von einer Reduzierung der gesamten Fertigungsmenge ausgehen, bleibt die Fertigungsmenge m_s über sämtliche Planungsphasen konstant. Somit entspricht die Zunahme der Fertigungsmengen der Erzeugnisklasse $e=1$ und $e=2$ der Abnahme der Fertigungsmengen der Erzeugnisklasse $e=3$ und $e=4$. Die mengenmäßige Zu- bzw. Abnahme lässt sich wie folgt quantifizieren:

$$DFM = FMA_e \cdot m_s \quad \text{mengenmäßige Zu- bzw. Abnahme in der Planungsphase } [s;s+1] \quad (6.6)$$

mit: $FMA \in [0;1]$ Faktor für die mengenmäßige Zu- bzw. Abnahme

Die für die Planungsphase $[s;s+1]$ vorgesehenen Zu- bzw. Abnahmen DFM der Fertigungsmengen werden entsprechend des mengenmäßigen Anteils einer Erzeugnisklasse e in der vorherigen Planungsphase $[s-1;s]$ an der gesamten Fertigungsmenge m_s wie folgt aufgeteilt:

$$m_{s,e} = m_{s-1,e} + \frac{m_{s-1,e}}{m_{s-1,1} + m_{s-1,2}} \cdot FMA \cdot m_s \quad (6.7)$$

Zunahme der Fertigungsmenge für $e=1,2$

$$m_{s,e} = m_{s-1,e} - \frac{m_{s-1,e}}{m_{s-1,3} + m_{s-1,4}} \cdot FMA \cdot m_s \quad (6.8)$$

Abnahme der Fertigungsmenge für $e=3,4$

Den Formeln liegt die Annahme zugrunde, dass Erzeugnisse, die zu Beginn der Planung einen geringen Anteil an der gesamten Fertigungsmenge aufweisen, geringere Zunahmen bzw. Abnahmen der Fertigungsmengen aufweisen werden, als Erzeugnisse, deren Anteil zu Beginn der Planung höher liegt.

6.1.3 Modellierung der zukünftigen Entwicklung der Fertigungsmengen

Die quantitative Erzeugnisentwicklung wird anhand von sechs Entwicklungsschritten $s=1$ bis $s=6$ modelliert. Da für jede Planungsphase $[s;s+1]$ das Fertigungsprogramm für einen Monat modelliert wird, entsprechen die Entwicklungsschritte s vom Beginn der Planung bis zum Ende des Planungshorizontes s^* den äquidistant verteilten Zeitpunkten t .

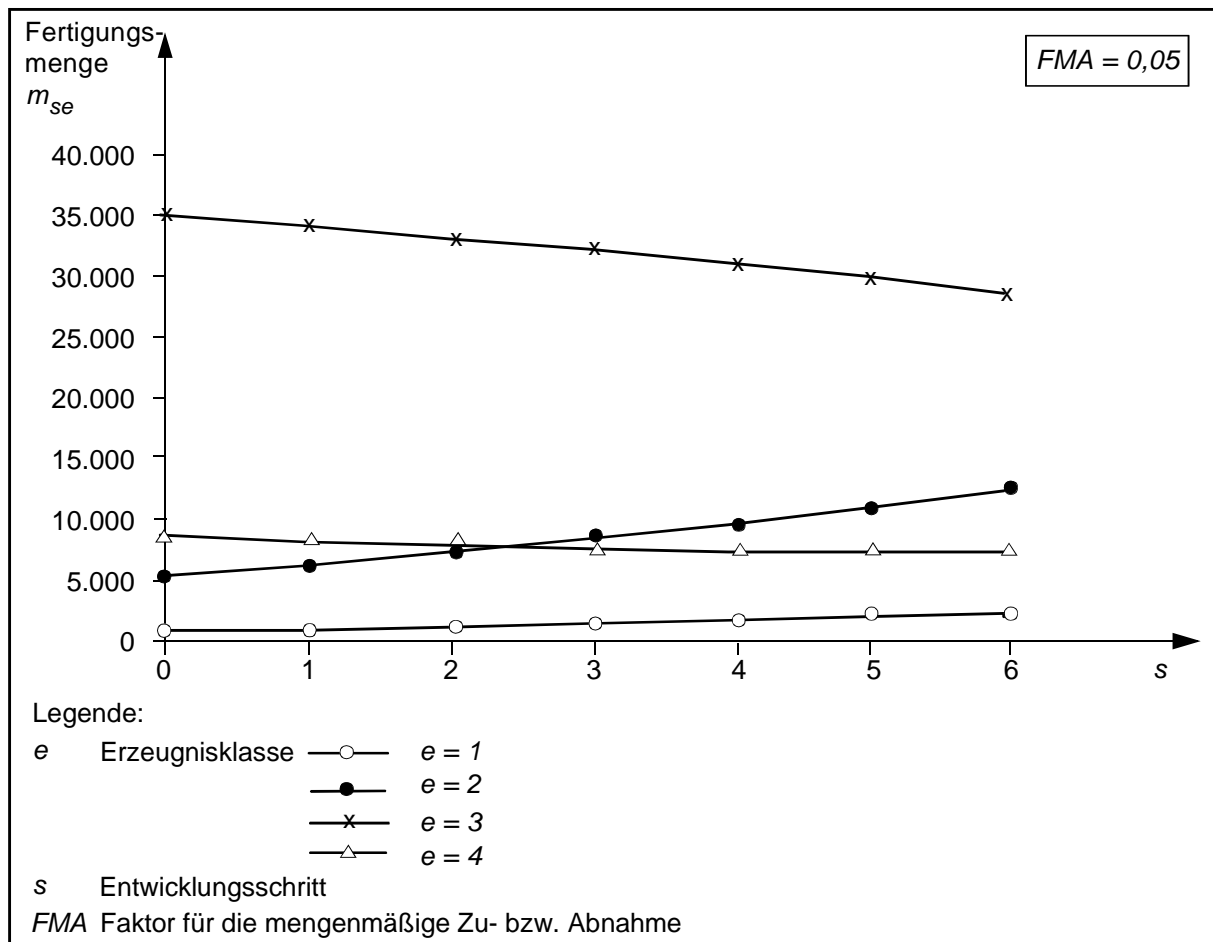


Abb. 6-2: Veränderung der Fertigungsmengen pro Erzeugnisklasse

Die in Absprache mit den Planungsverantwortlichen zugrunde gelegte Entwicklung der Fertigungsmengen der Erzeugnisklassen m_{se} ist in Abbildung 6-2 dargestellt. Im Szenario wird angenommen, dass der Faktor für die mengenmäßige Ab- bzw. Zunahme FMA für jede Planungsphase 0,05 beträgt. Im Hinblick auf ihre komplexere Geometrie sind für die Fertigung von Teilen bzw. Baugruppen der Erzeugnisklassen $e=1$ und $e=2$ im Vergleich zu geometrisch einfachen Teilen höhere Tätigkeits- bzw. Nutzungszeiten erforderlich. Dies wird im Rahmen der vorliegenden simulationsunterstützten Untersuchung bei der Modellierung der Durchlaufpläne für die Fertigungsaufträge entsprechend berücksichtigt (vgl. Abb. 9-5 im Anhang).

Die mengenmäßige Zu- bzw. Abnahme der Anteile der Erzeugnisklassen am Fertigungsprogramm werden durch die entsprechende Anpassung der Fertigungsmenge in der Eingabemaske für Durchlauf-

pläne vorgenommen (vgl. Abb. 3-2). Aufgrund der Veränderung von mensch- und betriebsmittelbezogenen Zeitarten ist neben der Ermittlung personalbedingter Engpässe auch die veränderte Nutzung der betrieblichen Ressourcen eine wichtige Fragestellung des Veränderungsprozesses.

6.1.4 Ergebnisse der simulationsunterstützten Vorgehensweise

6.1.4.1 Bewertung der generierten Personalstrukturen

Mit Hilfe des Simulationsverfahrens *ESPE-PE* werden für das Fertigungssystem alternative Personalstrukturen erzeugt und mit der prognostizierten Entwicklung des Fertigungsprogramms für die Planungsphasen $[0;1]$ bis $[6;7]$ simuliert und bewertet. Die Bewertung erfolgt anhand der in Kapitel 3.3 dargestellten Kriterien. Zur besseren Vergleichbarkeit von Planungsalternativen werden die Bewertungskriterien in Form von Zielerreichungsgraden unter Verwendung der Formeln (3.110) bis (3.117) wie folgt zu einem Gesamtzielerreichungsgrad ZEG_{sn} zusammengefasst:

$$ZPL_{sn} = \frac{1}{3} \cdot (ZDG_{sn} + ZAG_{sn} + ZPA_{sn}) \quad \begin{array}{l} \text{produktionslogis-} \\ \text{tischer Zielerrei-} \\ \text{chungsgrad in der} \\ \text{Planungsphase} \\ [s;s+1] \end{array} \quad (6.9)$$

$$ZPK_{sn} = \frac{1}{2} \cdot (ZKE_{sn} + ZEK_{sn}) \quad \begin{array}{l} \text{Zielerreichungs-} \\ \text{grad Personalkos-} \\ \text{ten in der Pla-} \\ \text{nungsphase} \\ [s;s+1] \end{array} \quad (6.10)$$

$$ZEG_{sn} = \frac{1}{2} (ZPL_{sn} + ZPK_{sn}) \quad \text{Gesamtzielerreichungsgrad in der Planungsphase } [s; s+1] \quad (6.11)$$

Zur Festsetzung der Bezugswerte für die Berechnung der Zielerreichungsgrade sind für sämtliche Planungsphasen eine Universalistenstruktur sowie eine kostenorientierte Personalstruktur zu erzeugen (zur Definition von Zielerreichungsgraden vgl. Kap. 3.3.5). Die Universalistenlösung repräsentiert eine Personalstruktur, in der alle Personen für alle Funktionselemente des Fertigungssystems qualifiziert sind. Damit wird die bestmögliche produktionslogistische Zielerreichung realisiert, da bei ausreichender Personenzahl keine personalbedingten Engpässe auftreten können. Gleichzeitig sind jedoch die Personaleinsatzkosten am höchsten. Als Vergleichsbasis für die nachfolgenden Simulationsläufe werden daher die Zielerreichungsgrade Durchlaufzeitgrad, Abarbeitungsgrad und Personalauslastung der Universalistenlösung zu 100 % gesetzt und in den produktionslogistischen Zielerreichungsgrad ZPL_{sn} zusammengefasst. Der Zielerreichungsgrad Personaleinsatzkosten ZKE_{sn} beträgt für die Universalistenlösung 0-%, da eine derartige Personalstruktur den höchsten Personalstundenatz PKO_{sn} aufweist (vgl. hierzu Formel 3.62).

Als kostengünstige Basislösung wird eine Personalstruktur modelliert, in der zwischen den einzelnen Personaltypen eine streng funktionale Arbeitsteilung herrscht. Diese Personalstruktur bedingt die geringste produktionslogistische Zielerreichung, da eine gegenseitige Unterstützung zwischen den einzelnen Personaltypen fehlt. Der produktionslogistische Zielerreichungsgrad ZPL_{sn} beträgt für diese Basislösung 0 %. Jedoch sind die Personaleinsatzkosten am geringsten, womit der Zielerreichungsgrad Personaleinsatzkosten ZKE_{sn} auf 100 % gesetzt wird (zu den Bezugswerten für die Berechnung der Zielerreichungsgrade vgl. Abb. 9-7 im Anhang).

In Abbildung 6-3 ist als Ergebnis die Entwicklung der Zielerreichungsgrade Abarbeitungsgrad, Personalauslastung und Personaleinsatzkosten für die Planungsphasen $[0;1]$ bis $[6;7]$ dargestellt und zwar für den Fall, dass nicht mit Personalentwicklungsmaßnahmen auf die

Veränderung des Auftragsprogramms reagiert wird. Da bei allen Szenarien unabhängig vom Fertigungsprogramm ein mittlerer Durchlaufzeitgrad DZG_{sn} von ca. 70 % ermittelt wird und selbst mit einer Universalistenstruktur für diese Kennzahl keine Verbesserung erzielt werden kann, wird der Zielerreichungsgrad Durchlaufzeitgrad ZDG_{sn} für jede Phase mit 100 % bewertet und deshalb in Abbildung 6-6 nicht dargestellt. Der Zielerreichungsgrad Personaleinsatzkosten ZKE_{sn} bleibt mit 84 % unverändert, da die Anzahl Mitarbeiter und deren Qualifikationen beibehalten werden (zu den einzelnen Zielerreichungsgraden vgl. Abb. 9-7 im Anhang).

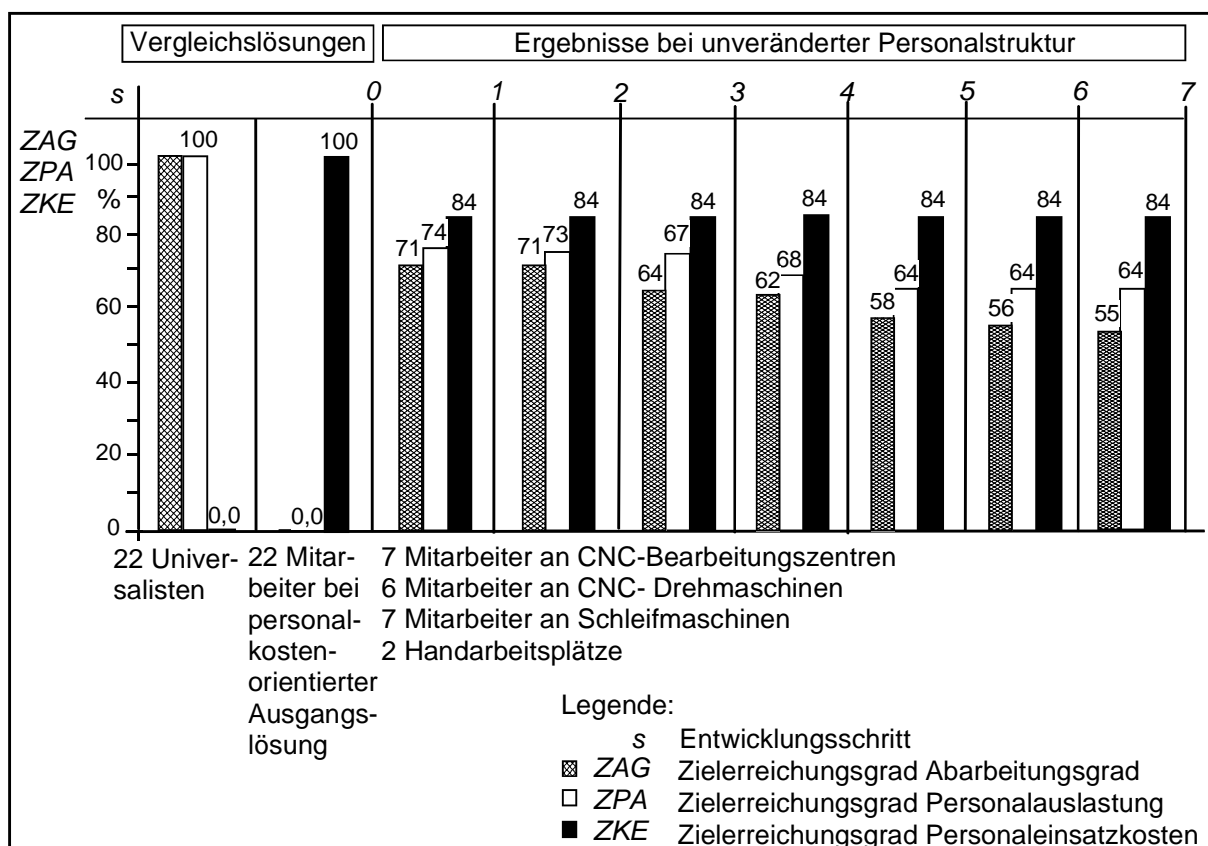


Abb. 6-3: Entwicklung der Zielerreichungsgrade bei unveränderter Personalstruktur

Angesichts des Anstiegs der Fertigungsmengen m_{se} in den Erzeugnis-klassen $e=1$ und $e=2$, zu deren Fertigung im Vergleich zu den übrigen Erzeugnis-klassen höhere Tätigkeits- bzw. Nutzungszeiten erforderlich sind (vgl. Abb. 6-2 und Abb. 9-5 im Anhang), steigen in jeder Pla-nungsphase die Arbeitsinhalte AIG_j der Fertigungsaufträge j perma-

nent an (vgl. hierzu Formel 3.23). Infolge der unveränderten Personalstruktur sinkt der Zielerreichungsgrad Abarbeitungsgrad ZAG_{sn} von 71 % in der Planungsphase $[0;1]$ auf 55 % in $[6;7]$. Die Entwicklung des Zielerreichungsgrades Personalauslastung deutet an, dass die höheren Tätigkeits- bzw. Nutzungszeiten nicht zu einer erhöhten mittleren Personalauslastung führen. Insbesondere steht der Teil der Mitarbeiter, der zuvor überwiegend für Rüst- und Instandhaltungsfunktionen eingesetzt wurde, infolge der höheren Tätigkeitszeiten bei der Bearbeitung von Erzeugnissen der Erzeugnisklassen $e=1$ und $e=2$ für Rüst- und Instandhaltungsfunktionen nur noch partiell zur Verfügung. Derartige Funktionen können jedoch ohne eine zielgerichtete Qualifikationserweiterung nicht von anderen Mitarbeitern übernommen werden. Dadurch steigen die Wartezeiten bei Mitarbeitern, die ausschließlich für die Bearbeitung von Erzeugnissen der Erzeugnisklassen $e=3$ und $e=4$ qualifiziert sind, an.

6.1.4.2 Generierung von Personalentwicklungspfaden

Hinsichtlich der wirtschaftlichen Situation des Unternehmens, die keine Beschaffung von zusätzlichem Personal erlaubt, bleibt die Anzahl Mitarbeiter für alle betrachteten Planungsphasen unverändert. Auch sind die Möglichkeiten für betriebliche Weiterbildungsmaßnahmen begrenzt. Unter Verwendung der in Kapitel 4.3 dargestellten Strategien zur Generierung alternativer Personalstrukturen werden daher pro Planungsphase neben der heuristisch optimalen Personalstruktur auch Personalstrukturen mit reduzierten Personaleinsatzkosten erzeugt. Weiterhin werden Personalstrukturen aus der vorherigen Planungsphase beibehalten, um damit Personalentwicklungskosten zu vermeiden. Angesichts der betrieblichen Vorgabe zur Einhaltung der produktionslogistischen Zielgrößen werden darüber hinaus nur Planungslösungen mit einem produktionslogistischen Zielerreichungsgrad $ZPL_{sn} > 80\%$ akzeptiert. Hierzu wird eine primäre Entscheidungsregel definiert, die gemäß der lexikographischen Verknüpfung die oberste Priorität hat:

$$ERA_1 : q_{sn} \in Q_s \wedge q_{s+1} \notin Q_{s+1} \Leftrightarrow ZPL_{sn} \leq 80\% \quad (6.12)$$

Zusammen mit den in den Formeln (4.21) und (4.22) definierten Entscheidungsregeln ERA_x für den Abbruch von Personalentwicklungspfaden wird folgende lexikographische Ordnung der Regeln definiert:

$$LXR = \begin{cases} ERA_1 \dots ZPL_{sn} \leq 80 \% \\ ERA_2 \dots \frac{ZEG_{sn}}{ZEG_{s\bar{n}}} \leq GVZ \\ ERA_3 \dots ZEG_{s-2,\underline{n}} \geq ZEG_{sn} \leq ZEG_{s-1,\underline{n}} \end{cases} \quad (6.13)$$

mit: \underline{n} direkter Vorgänger der Personalstruktur n
 $\underline{\underline{n}}$ direkter Vorgänger der Personalstruktur \underline{n}

In Abbildung 6-4 werden die anhand des Gesamtzielerreichungsgrades ZEG_{sn} bewerteten Planungsergebnisse zusammen mit den Personalentwicklungskosten dargestellt (vgl. zur Entwicklung der einzelnen Zielerreichungsgrade Abbildung 9-7 im Anhang). Die für die Planungsphasen ermittelten Gesamtzielerreichungsgrade sind in Abbildung 6-4 jeweils zu Beginn einer Planungsphase $[s;s+1]$ eingetragen. Mit Personalstrukturen zur Reduzierung der Personaleinsatzkosten werden für alle Planungsphasen deutlich schlechtere Gesamtzielerreichungsgrade erzielt; sie sind in dieser Abbildung nicht dargestellt.

Die Planungsphase $[0;1]$ spiegelt die Bewertung der Ausgangspersonalstruktur wieder. Für die Planungsphase $[1;2]$ kann die Personalqualifikation aus der Ausgangssituation beibehalten werden; hierzu ist anzumerken, dass der Gesamtzielerreichungsgrad trotz geringfügiger Verschlechterung des produktionslogistischen Zielerreichungsgrades ZPL_{sn} unverändert bleibt, da der Zielerreichungsgrad Personalentwicklungskosten ZEK_{sn} hier 100 % beträgt. Aus diesem Grund weist diese Personalstruktur für den im Vergleich zu den übrigen generierten Personalstrukturen den höchsten Gesamtzielerreichungsgrad ZEG_{sn} auf und wird entsprechend der in Formel (4.21) definierten Entscheidungsregel für die nachfolgende Planungsphase $[1;2]$ weiter verfolgt. Erst ab der Planungsphase $[2;3]$ verbleiben nach Anwendung

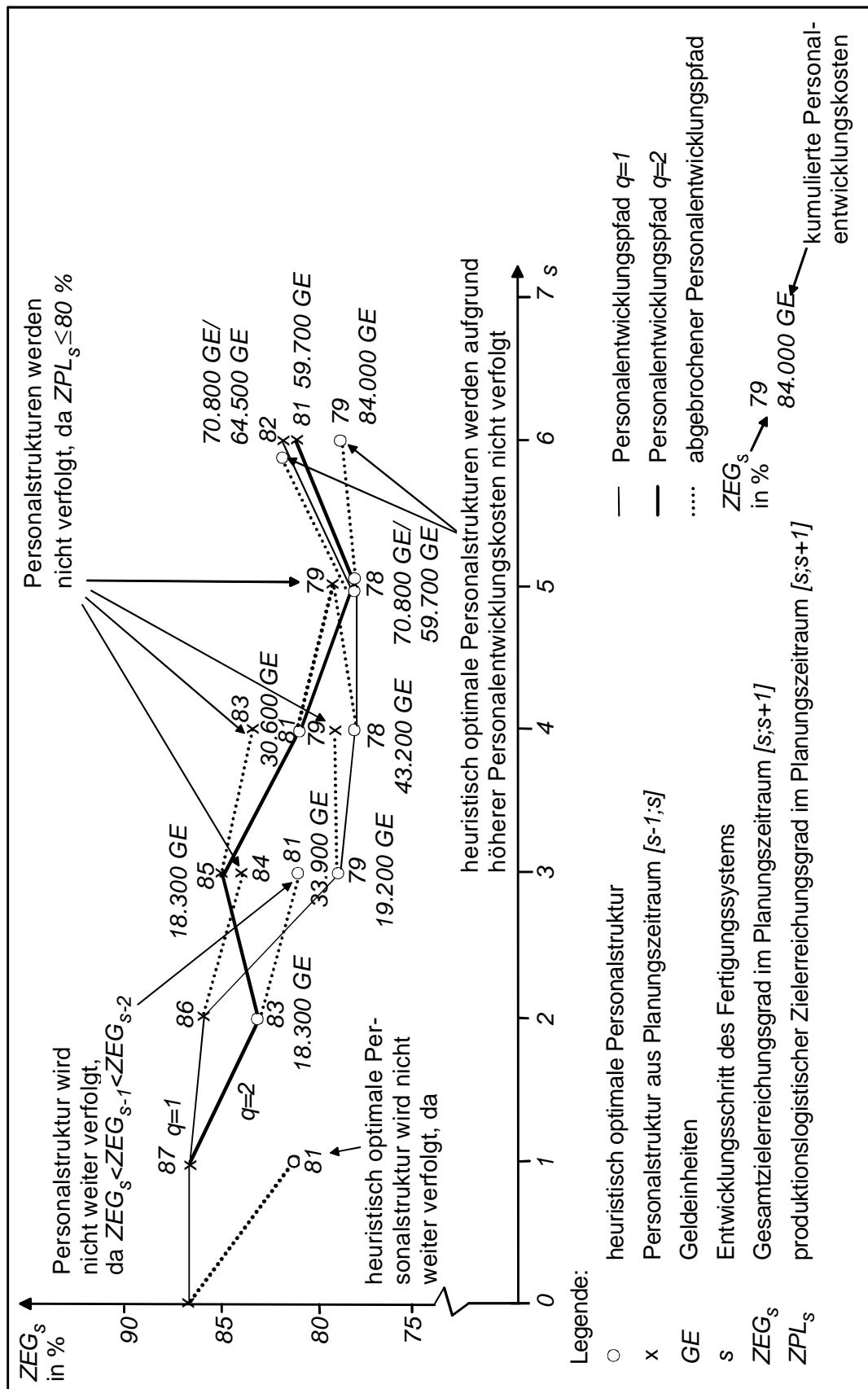


Abb. 6-4: Bewertung alternativer Personalentwicklungspfade

aller Entscheidungsregeln für den Abbruch von Personalentwicklungspfaden zwei alternative Planungslösungen, die für nachfolgende Planungsphasen weiter betrachtet werden. Da der produktionslogistische Zielerreichungsgrad ZPL_{sn} in der Planungsphase [4;5] für Personalstrukturen aus der vorherigen Planungsphase den Wert von 80 % unterschreitet, werden nur die heuristisch optimalen Lösungen weiter verfolgt. Dies gilt auch für die Planungsphase [5;6], wobei die Gesamtzielerreichungsgrade ZEG_{sn} der heuristisch optimalen Personalstrukturen beider Pfade mit 78 % gleich hoch ausfallen. Für die Planungsphase [6;7] werden die Planungslösungen aus der vorherigen Planungsphase beibehalten. Da der Zielerreichungsgrad Personalentwicklungskosten ZEK_{sn} bei einer Personalstruktur, die unverändert aus der vorherigen Planungsphase übernommen wird, immer 100 % beträgt, verbessert sich der Gesamtzielerreichungsgrad ZEG_{sn} dieser Personalstrukturen von 78 % auf 81 % bzw. 82 %.

6.1.4.3 *Bewertung der Personalentwicklungspfade*

Um aus den generierten Personalentwicklungspfaden unter Berücksichtigung der Zeitpräferenz den am besten geeigneten Pfad auszuwählen, wird die in Kapitel 5.2 dargestellte Methode des abgewerteten Gesamtzielerreichungsgrades ZAB_q eingesetzt. Die Überlegenheit des Personalentwicklungspfades $q=2$ gegenüber $q=1$ wird bereits aus der graphischen Darstellung der Entwicklung der Gesamtzielerreichungsgrade in Abbildung 6-4 deutlich. Der Einsatz der Methode des abgewerteten Gesamtzielerreichungsgrades ist im konkreten Anwendungsfall nicht erforderlich, wird jedoch zur Vervollständigung in nachfolgender Berechnung dargestellt. Bei einem Abwertungssatz von $i=0,01$ ergeben sich nach Formel (5.8) die folgenden abgewerteten Gesamtzielerreichungsgrade:

$$ZAB_1 = \frac{87}{1,01} + \frac{86}{1,01^2} + \frac{79}{1,01^3} + \frac{78}{1,01^4} + \frac{78}{1,01^5} + \frac{82}{1,01^6} = 474 \quad (6.14)$$

$$ZAB_2 = \frac{87}{1,01} + \frac{83}{1,01^2} + \frac{85}{1,01^3} + \frac{81}{1,01^4} + \frac{78}{1,01^5} + \frac{81}{1,01^6} = 478$$

abgewertete Gesamtzielerreichungsgrade für die Personalentwicklungspfade $q=1$ und $q=2$

Die Ergebnisse der gezielten Qualifikationserweiterung zeigen, dass selbst bei Verzicht auf Personaleinstellungen und einer Beschränkung auf die notwendigsten Personalentwicklungsmaßnahmen eine Verschlechterung der produktionslogistischen Zielerreichungsgrade verhindert werden kann (vgl. hierzu die Bewertungsergebnisse der einzelnen Zielerreichungsgrade des ausgewählten Personalentwicklungspfad in Abb. 9-7 im Anhang). Die zu realisierenden Qualifizierungsmaßnahmen werden aufgrund der Erhöhung der Fertigungsmengen bei den Erzeugnisklassen $e=1$ und $e=2$ und den damit verbundenen höheren Bearbeitungszeiten notwendig (vgl. Abb. 9-5 im Anhang). Aus diesem Grund wird der Personalentwicklungspfad $q=2$ aus Abbildung 6-4 für den dargestellten mehrphasigen Personalentwicklungsplan zugrunde gelegt. Tabelle 6-1 zeigt eine Zusammenfassung der erforderlichen Qualifizierungsmaßnahmen zur bestmöglichen Vermeidung personalbedingter Engpässe mit den dazugehörigen Zeitpunkten, an denen die Maßnahmen abgeschlossen sein müssen. Ein Großteil der zusätzlichen erforderlich werdenden Qualifikationen bezieht sich auf das Rüsten von Betriebsmitteln und lässt sich direkt am Arbeitsplatz durch erfahrene Mitarbeiter vermitteln. Umfangreichere innerbetriebliche Weiterbildungsmaßnahmen werden allerdings für Instandhaltungsfunktionen und Funktionen der Qualitätssicherung erforderlich.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass vor dem Hintergrund des sich verändernden Fertigungsprogramms mit Hilfe der simulationsunterstützten Vorgehensweise eine Prognose über die Entwicklung der Leistungsfähigkeit des Fertigungssystems erstellt werden kann. Die Ergebnisse zeigen, dass die ursprüngliche Annahme der Planungsverantwortlichen, die Veränderung des Auftragsprogramms auch ohne entsprechende Maßnahmen der Personalentwicklung zu bewerkstelligen, aufgegeben werden muss. Ein Rückgang der produktionslogistischen Zielerreichungsgrade kann nur mit einer entsprechenden Qualifizierung der vorhandenen Personalstruktur vermieden werden.

| s | Personalentwicklungsmaßnahme | Personaltyp | Betriebsmittel: Funktion |
|---|---------------------------------|---------------------|--|
| 2 | innerbetriebliche Weiterbildung | 2 Facharbeiter | 3 CNC-Bearbeitungszentren horizontal: Instandhalten, Kurzstörung beheben |
| | | 5 Facharbeiter | 6 CNC-Bearbeitungszentren horizontal und vertikal: Qualität prüfen |
| | Unterweisung am Arbeitsplatz | 4 Facharbeiter | 3 CNC-Bearbeitungszentren horizontal: Bearbeiten, Rüsten Rolliergerät: Bearbeiten, Rüsten CNC-Drehmaschinen: Bearbeiten, Rüsten Rundschleifmaschine: Bearbeiten Flachschleifmaschine: Bearbeiten Außenrundschleifmaschine: Rüsten Universalschleifmaschine: Rüsten |
| | | 2 Handarbeiter | 2 Montagearbeitsplätze: Montieren |
| 4 | innerbetriebliche Weiterbildung | 4 Facharbeiter | CNC-Fräsmaschine: Rüsten, Instandhalten 6 CNC-Drehmaschinen: Rüsten, Instandhalten |
| | Unterweisung am Arbeitsplatz | 2 Facharbeiter | Vertikal-Fräsmaschine: Rüsten CNC-Universalfräsmaschine: Bearbeiten, Rüsten Räummaschine: Rüsten |
| 5 | Unterweisung am Arbeitsplatz | 2 Facharbeiter | Fräsmaschine: Rüsten 2 CNC-Bearbeitungszentren horizontal: Rüsten 3 CNC-Drehmaschinen/ Stangenbearbeitung: Rüsten |
| | Unterweisung am Arbeitsplatz | 1 Maschinenbediener | CNC-Fräsmaschine: Bearbeiten, Rüsten |

Tab. 6-1: Mehrphasiger Personalentwicklungsplan für den ausgewählten Entwicklungspfad

6.1.4.4 Bewertung nach personalbezogenen Zielsetzungen

Für die Planungsverantwortlichen standen im Rahmen der Personalentwicklungsplanung produktionslogistische und monetäre Zielsetzungen im Vordergrund. Die in Kapitel 3.3.4 definierten personalbezogenen Zielsetzungen waren hierbei nicht entscheidungsrelevant. Dennoch werden bei der Zuordnung von Funktionselementen zu Personen personalbezogene Zielsetzungen nach der in Formel (4.2) definierten Berechnungsvorschrift berücksichtigt. Quantifiziert werden die per-

sonalbezogenen Zielsetzungen nach der Kennzahl für die sequenzielle Vollständigkeit MSV_s (vgl. Formel 3.89) und dem Ausschöpfungsgrad des Entwicklungspotenzials EPE_s (vgl. Formel 3.104). Bei der Berechnung von MSV_s wird für jeden der vier Variationskoeffizienten der Funktionsklassen "Bearbeiten", "Rüsten", "Umfeldaufgaben" und "Instandhaltung" ein Gewichtungsfaktor GSV_k von 0,25 gewählt.

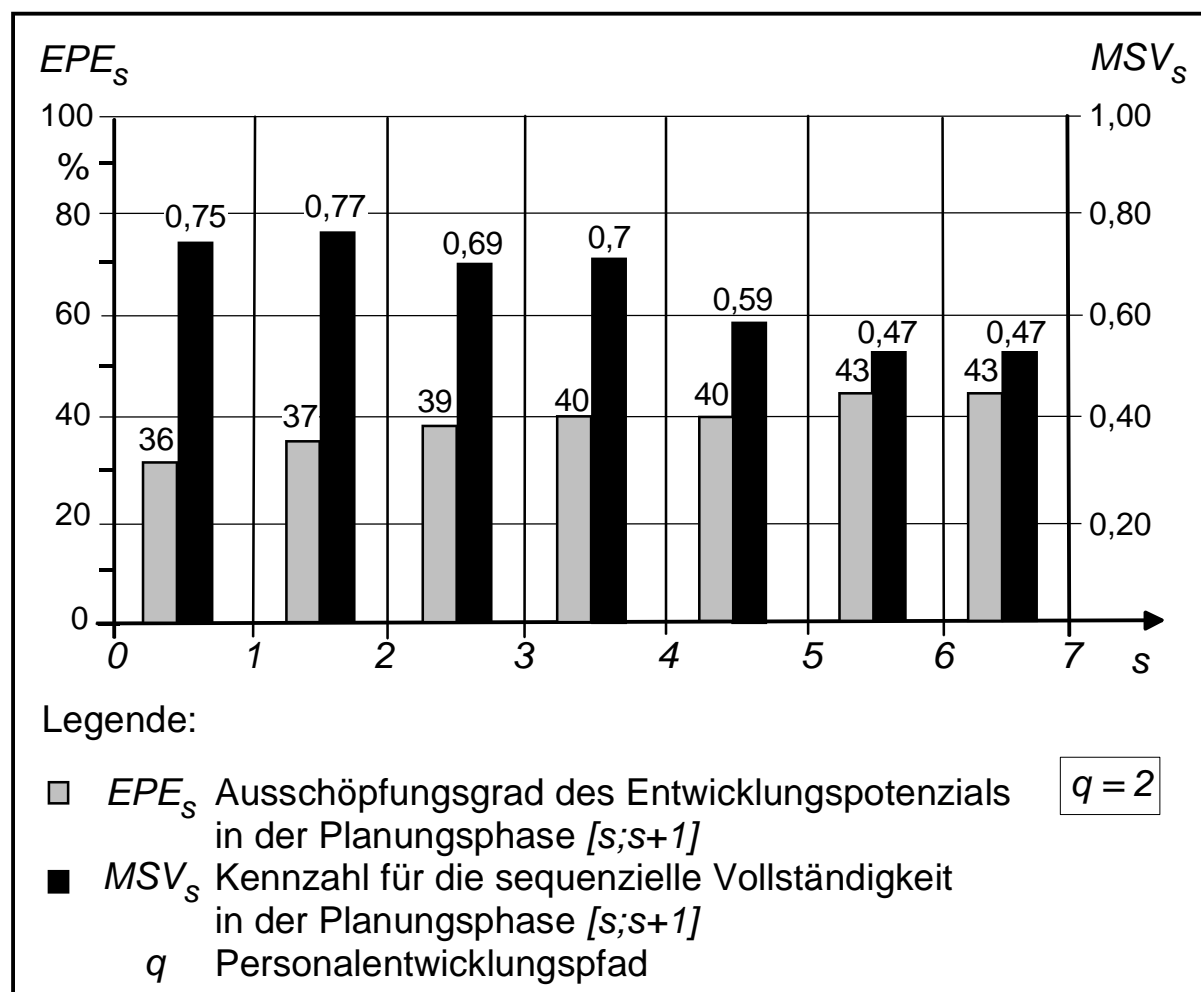


Abb. 6-5: Bewertung des ausgewählten Entwicklungspfad nach personalbezogenen Zielsetzungen

Für die Berechnung des Ausschöpfungsgrad des Entwicklungspotenzials EPE_s wird eine Potenzialbewertung der Ausgangspersonalstruktur, die zu Beginn der Planung durchgeführt wurde, zugrunde gelegt. Da im Zuge der Personalentwicklungsplanung keine Qualifikationsvereinfachung vorgenommen wurde, ist die Darstellung des Ausschöpfungsgrads des Vereinfachungspotenzials EPV_s (vgl. Formel

3.108) nicht zweckmäßig. Die Ergebnisse in Abbildung 6-5 zeigen eine Verbesserung der personalbezogenen Kriterien EPE_s und MSV_s für die Planungsphasen [2;3], [4;5] und [5;6]. Für diese Phasen werden unter Ausnutzung persönlicher Entwicklungspotenziale Maßnahmen zur Qualifikationserweiterung umgesetzt. Auch sind mit jeder Qualifikationserweiterung Möglichkeiten für eine Zuordnung von Arbeitsaufgaben nach dem Prinzip der sequenziellen Vollständigkeit verbunden. Im Hinblick auf den beschränkten Spielraum für Personalentwicklungsmaßnahmen ist eine stärkere Erhöhung für EPE_s bzw. Reduzierung für MSV_s jedoch nicht realisierbar.

6.2 Personalentwicklung für neue Fertigungstechnologien bei einem Automobilzulieferer

6.2.1 Problemstellung und Zielsetzung

Im zweiten Anwendungsbeispiel sieht sich ein Automobilzulieferer einer grundlegenden Erzeugnis- und Fertigungstechnologieänderung gegenüber. In der Ausgangssituation erfolgt im zugehörigen Fertigungssystem lediglich die Vorserienfertigung von Baugruppen für eine Vielzahl von Automobilherstellern in zahlreichen Varianten. Die Variantenvielfalt ergibt sich aus den unterschiedlichen Fahrzeugtypen. Bei erfolgreicher Abnahme der Vorserie erfolgt die Großserienfertigung in einem ausländischen Werk.

Zusätzlich zur Vorserienfertigung ist für das Fertigungssystem die Einsteuerung weiterer Aufträge eines Automobilherstellers geplant. Diese Aufträge erfordern die Fertigung hoher Stückzahlen, was den Einsatz einer neuen Fertigungstechnologie erlaubt. Hierbei wird das Haltesystem der Baugruppe nicht wie bisher punktgeschweißt, sondern durch Kaltumformung gefertigt. Aufgrund der unzureichenden Erfahrung des ausländischen Werkes mit der neuen Erzeugnis- und Fertigungstechnologie werden die Baugruppen in Deutschland hergestellt. Um die notwendigen Personalentwicklungsmaßnahmen mit den Veränderungen in der Vorserienfertigung abzustimmen, insbe-

sondere um entsprechend qualifiziertes Personal rechtzeitig zur Verfügung zu stellen, wird die Erstellung eines mehrphasigen Personalentwicklungsplans erforderlich.

6.2.2 Modellierung der Erzeugnis- und Fertigungstechnologieentwicklung

6.2.2.1 Ausgangssituation

Aus Interviews, die mit den Planungsverantwortlichen durchgeführt werden, können für die simulationsunterstützte Vorgehensweise folgende Daten der Ausgangssituation sowie der zukünftigen Erzeugnis- und Fertigungstechnologieentwicklung ermittelt werden: In der Vorserienfertigung der Baugruppen werden in der Ausgangssituation im Drei-Schicht-Betrieb pro Schicht fünf Maschinenbediener sowie ein Teamleiter eingesetzt. Die Vorserienfertigung erfolgt in vier Bearbeitungsschritten, wofür je eine Umform-, Walz- und Biegemaschine sowie zwei Montagearbeitsplätze erforderlich sind.

Die Bedienung der Betriebsmittel und die Montage der Baugruppen übernehmen angelernte Mitarbeiter. Sowohl die Maschinenbediener als auch die Montagearbeiter stammen überwiegend aus fachfremden Berufen und erlernen das Bedienen und Rüsten der Betriebsmittel meist durch eine entsprechende Unterweisung am Betriebsmittel. Der Stundenkostensatz fällt für diesen Personaltyp im Vergleich zum Teamleiter geringer aus (zum Vergleich der Stundenkostensätze der einzelnen Personaltypen siehe Tab. 6-2). Die für das schnelle und fachgerechte Eingreifen bei unvorhersehbaren Ereignissen im Fertigungsablauf notwendigen Tätigkeiten, insbesondere das Instandsetzen der Betriebsmittel, können in Anbetracht mangelnder fachlicher Grundkenntnisse nicht vom Personaltyp Maschinenbediener durchgeführt werden. Diese Aufgaben werden von speziell ausgebildeten Teamleitern wahrgenommen. Zusätzlich sind die Teamleiter für die Wartung und Inspektion der Betriebsmittel verantwortlich.

6.2.2.2 Erzeugnis- und Fertigungstechnologieentwicklung

Das Funktionslayout des Fertigungssystems ist in Abbildung 6-6 mit seinen Entwicklungsschritten dargestellt. Die Ausweitung des Auftragsprogramms erfordert die Einführung einer neuen Fertigungstechnologie, die in zwei Stufen umgesetzt wird: In der ersten Ausbaustufe erfolgt das Umformen und Walzen automatisch, womit die Tätigkeitszeiten $t_{t,v}$ der Personen und die Nutzungszeiten $t_{h,v}$ und $t_{n,v}$ der Betriebsmittel für Arbeitsvorgänge im Vergleich zur Vorserienfertigung in der Ausgangssituation reduziert werden; daran schließt sich der Biegeprozess an einer separaten Biegezelle an.

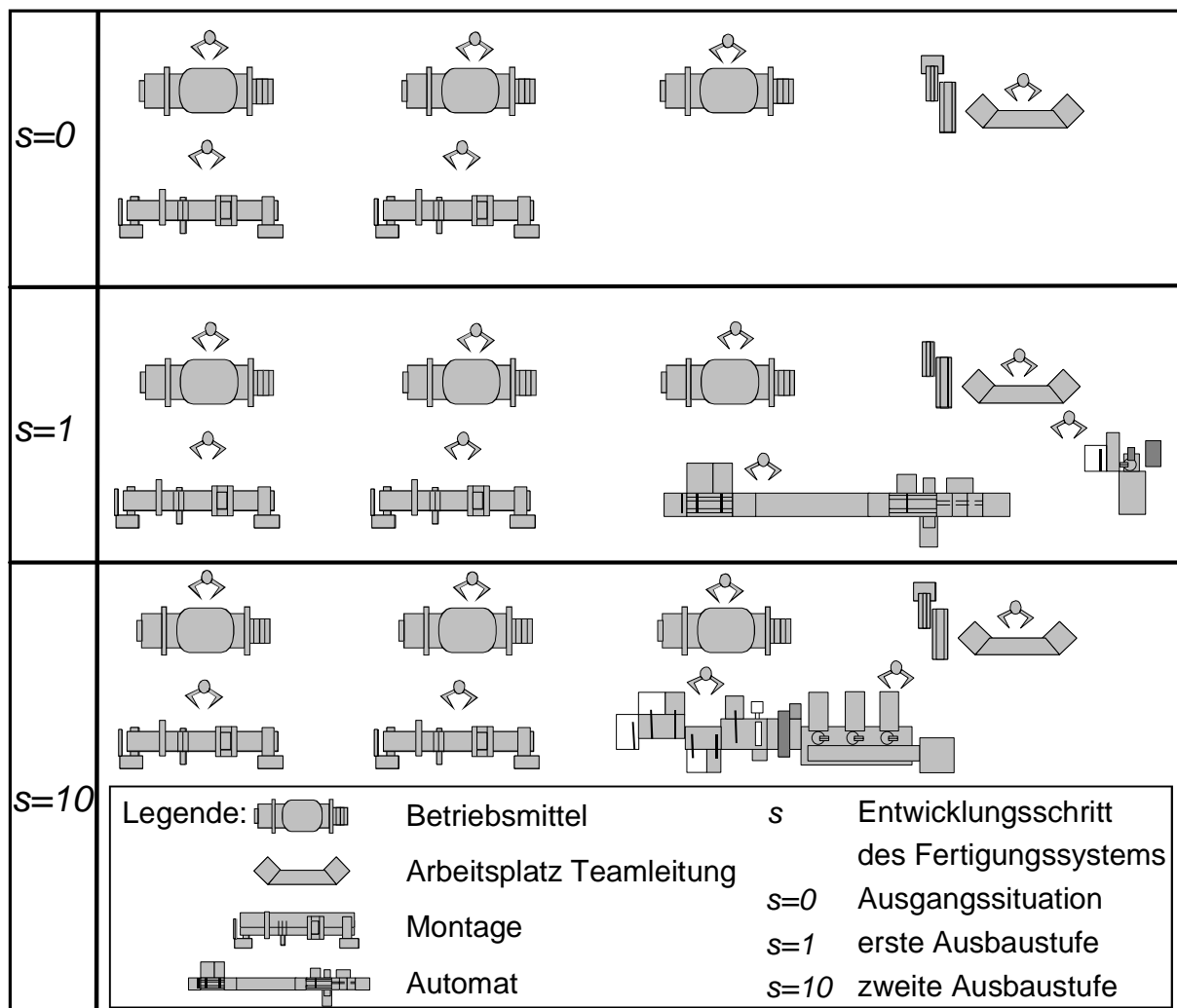


Abb. 6-6: Entwicklung des Fertigungssystems

In der zweiten Ausbaustufe wird der Biegeprozess in eine automatisierte Komplettfertigung integriert, womit das manuelle Beladen der Biegezeile sowie die Liegezeiten vor und nach der Bearbeitung (t_{SAN} , t_{SAV}) sowie die Transportzeit t_{ztS} zwischen den einzelnen Arbeitsvorgängen entfallen (zur Reduzierung von Zwischenzeiten vgl. Abb. 3-4). Mit der Integration des Biegeprozesses ist das gleichzeitige Biegen von drei Einzelteilen möglich. Die automatisierte Fertigung der Baugruppe wird für zwei Varianten geplant. Die Varianten unterscheiden sich in ihrer Länge, womit der Rüstvorgang für einen Variantenwechsel lediglich aus der Umstellung eines Längenanschlages und der Auswahl eines neuen Programms für die Automatensteuerung besteht. Dieser Rüstvorgang erfolgt pro Schicht einmal. Aufgrund der monatlichen Veränderung der Fertigungsmengen, die für beide Varianten vom Auftraggeber vorgegeben ist, beziehen sich die zu bewertenden Planungsphasen jeweils auf einen Monat. Mittelfristig ist für beide Varianten mit einem starken Anstieg der Fertigungsmengen zu rechnen. Insbesondere zu den Entwicklungsschritten $s=1$ und $s=10$, zu denen die Installation der Ausbaustufen abgeschlossen sein muss, ist jeweils ein deutlicher Anstieg der Fertigungsmenge vorgesehen (vgl. Tab. 6-2 und Abb. 9-9 im Anhang).

Bereits zu Beginn der Personalentwicklungsplanung wird deutlich, dass mit der Installation einer automatisierten Fertigung hohe Qualifikationsanforderungen verbunden sind. Aufgrund unzureichender fachlicher Grundkenntnisse ist jedoch nur ein geringer Teil des vorhandenen Personals für eine Qualifikationserweiterung geeignet, wie aus einer Bewertung des Personalentwicklungspotenzials der Ausgangspersonalstruktur hervorgeht.

Insbesondere zum Führen des Automaten sind neben theoretischen Kenntnissen über die zu verarbeitenden Werkstoffe und anderen Eigenschaften der Baugruppen auch die entsprechenden Qualifikationen für die Steuerung und Instandhaltung des Automaten vorauszusetzen. Für derartige Qualifikationsanforderungen ergibt die Potenzialbewertung, dass nur ein Mitarbeiter der Ausgangspersonalstruktur für eine solche Qualifikationserweiterung in Frage kommt und somit neues Personal auf dem externen Arbeitsmarkt beschafft werden muss. Infolge der hohen Anforderungen sollen die Automatenführer zukünftig

tig höher gruppiert und entsprechend dem Stundenkostensatz der Teamleiter entlohnt werden. Für das manuelle Be- und Entladen des Automaten ergeben sich im Vergleich zu den bereits vorhandenen Betriebsmitteln des Fertigungssystems keine erhöhten Qualifikationsanforderungen.

Um die für die automatisierte Fertigung erforderlichen Qualifikationen rechtzeitig bereitstellen zu können, ist die Aufstellung eines Personalentwicklungsplanes notwendig. Hierfür sind neben den Ausbaustufen des Fertigungssystems insbesondere die Erhöhung der Fertigungsmengen zu berücksichtigen und sowohl quantitative als auch qualitative Aspekte der Personalentwicklung für Automatenbediener und -führer zu analysieren.

In diesem Konzept muss außerdem eine erhöhte Ausfallwahrscheinlichkeit und damit verbunden ein erhöhter Instandhaltungsaufwand zu Beginn einer jeden Ausbaustufe berücksichtigt werden. Der Instandhaltungsaufwand lässt sich erfahrungsgemäß erst nach einer gewissen Anlaufzeit der Automaten reduzieren. Um störungsbedingte Unterbrechungen zu reduzieren, muss somit in frühen Phasen der Einführung der neuen Fertigungstechnologie eine ausreichende Anzahl von Mitarbeitern mit den erforderlichen Qualifikationen bereitgestellt werden.

Tabelle 6-2 zeigt die wesentlichen Merkmale, die zur Modellierung dieses Anwendungsbeispiels im Simulationsverfahren *ESPE-PE* verwendet werden. In dieser Tabelle sind die mit den Ausbaustufen verbundenen Veränderungen des Fertigungssystems zu den Entwicklungsschritten $s=1$ und $s=10$ dargestellt. Die vom auftraggebenden Automobilhersteller vorgegebene Absatzmenge ist monatlichen Schwankungen unterworfen; daher wird in Tabelle 6-2 die Bandbreite der monatlichen Fertigungsmengen wiedergegeben.

Bezüglich des zeitlichen Anteils der stochastischen Umfeldaufgaben, wie z.B. Justieren des Automaten und der Instandhaltungsaufgaben wird für die erste Ausbaustufe angenommen, dass im ersten Monat der Inbetriebnahme des neuen Automaten der Anteil dieser Aufgaben bei 30 % des geplanten zeitlichen Einsatzbedarfes liegt. Es wird erwartet, dass dieser Anteil pro Monat um je 5 % reduziert werden kann, bis eine Untergrenze von 10 % erreicht ist. Diese Annahme

gilt auch für die zweite Ausbaustufe. Die Entwicklung des Fertigungsprogramms und des zeitlichen Anteils der Umfeld- und Instandhaltungsaufgaben am geplanten zeitlichen Einsatzbedarf der automatisierten Fertigung sind in den Abbildungen 9-9 und 9-10 im Anhang wiedergegeben.

| Merkmale | Ausprägung | | |
|---|------------|-----------------|------------------|
| | s=0 | s=1 | s=10 |
| Simulationstechnische Merkmale: | | | |
| Auswertungszeitraum (in min) | 27.000 | 27.000 | 27.000 |
| Betriebsmittel und Erzeugnisse: | | | |
| Anzahl Betriebsmittel | 5 | 7 | 6 |
| Anzahl Erzeugnisse | 280 | 282 | 282 |
| Fertigungsmenge je Erzeugnis | | | |
| Vorserienfertigung | <200 | <200 | <200 |
| Automatenfertigung | - | [2.800; 23.850] | [24.050; 37.000] |
| Anzahl Arbeitsvorgänge je Erzeugnis | | | |
| Vorserienfertigung | 4 | 4 | 4 |
| Automatenfertigung | - | 2 | 1 |
| Mitarbeiter: | | | |
| Anzahl Mitarbeiter pro Schicht | 6 | zu bestimmen | zu bestimmen |
| Stundensatzsätze (GE/h): | | | |
| Maschinen-/Automatenbediener | [20; 23] | [20; 23] | [20; 23] |
| Teamleiter | 28 | 28 | 28 |
| Automatenführer | - | 28 | 28 |
| Funktionen: | | | |
| Anzahl Funktionen | 16 | 24 | 20 |
| Verhältnis Betriebsmittelrüstzeit/Belegungszeit | | | |
| Vorserienfertigung | 10 % | 10 % | 10 % |
| Automatenfertigung | - | 10 % | 5 % |
| Zeitlicher Anteil unplanmäßiger | | | |
| Umfeld- und Instandhaltungsfunktionen | 10 % | [10;30] % | [10;30] % |

Tab. 6-2: Beschreibungsschema des Anwendungsbeispiels

6.2.3 Vorgehensweise bei der simulationsunterstützten Personalentwicklungsplanung

Im Rahmen der simulationsunterstützten Personalentwicklungsplanung werden insgesamt zehn Entwicklungsschritte betrachtet, zu denen Veränderungen der Fertigungsmengen sowie des Instandhaltungs- und Rüstaufwandes absehbar sind. Im Hinblick auf die Annahme, dass die modellierten Änderungen des Auftragsprogramms bzw. des Instandhaltungsaufwandes jeweils für einen Monat gelten, sind die Entwicklungsschritte s äquidistant.

Daraus ergibt sich gemäß der Formel (2.3) die Indexmenge $T = \{0; t_{s^*} = 11\}$. Demnach ist das Fertigungssystem für elf Planungsphasen $[s; s+1]$ zu simulieren und nach produktionslogistischen, monetären und personalbezogenen Kriterien zu bewerten. Anhand dieser Bewertungsgrundlage können anschließend konkrete Personalentwicklungsmaßnahmen abgeleitet werden. Neben der quantitativen und qualitativen Ermittlung des Personalentwicklungsbedarfs stellt die Bestimmung der Zeitpunkte, zu denen Personalentwicklungsmaßnahmen abgeschlossen werden müssen, eine wichtige Fragestellung im Anwendungsbeispiel dar.

6.2.3.1 Vorgehensweise bei der Generierung alternativer Planungslösungen

Als Ausgangspersonalstruktur wird die ursprüngliche Personalstruktur zugrunde gelegt, die pro Schicht aus fünf Maschinenbedienern und einem Teamleiter besteht. Ausgehend von dieser Personalstruktur sind für die folgenden Planungsphasen $[1;2]$ bis $[10;11]$ alternative Planungslösungen zu generieren und an die veränderten Anforderungen anzupassen, die sich aus der Erhöhung der Fertigungsmengen sowie aus dem variierenden Aufwand für Umfeld- und Instandhaltungsfunktionen für die automatisierte Fertigung ergeben.

Um die Komplexität des Planungsproblems zu reduzieren und um den Planungsverantwortlichen eine überschaubare Anzahl Planungsalternativen vorzugeben, wird pro Planungsphase neben der heuristisch optimalen Personalstruktur \hat{n} eine Personalstruktur \bar{n} mit mini-

malen Personalentwicklungskosten erzeugt. Die Planungslösung \bar{n} verfolgt die Zielsetzung, Personalstrukturen der vorherigen Planungsphase $[s-1;s]$ so weit wie möglich aufrechtzuerhalten, um damit Personalentwicklungskosten zu vermeiden oder zumindest auf ein Mindestmaß zu beschränken (zur Erzeugung von Personalstrukturen mit minimalen Personalentwicklungskosten vgl. Abb. 4-2). Falls beide Personalstrukturen die geforderte Zielsetzung zur Einhaltung der produktionslogistischen Zielkriterien nicht erfüllen, ist eine Personalstruktur \tilde{n} mit einem Zielerreichungsgrad $ZAG_{sn} \geq 90\%$ für die Abarbeitung des eingesteuerten Fertigungsprogramms zu generieren. Die Einhaltung dieses Zielerreichungsgrades ist notwendig, weil dessen Unterschreiten von dem zu beliefernden Automobilhersteller nicht toleriert wird (zur Generierung von Personalstrukturen mit $ZAG_{sn} \geq 90\%$ siehe Abb. 9-11 im Anhang). Demzufolge wird die Entscheidungsregel ERA_1 für den Abbruch eines Personalentwicklungspfades ergänzend zu den in Kapitel 4.4.2 aufgezeigten Entscheidungsregeln wie folgt definiert:

$$ERA_1 : q \in Q_s \wedge q \notin Q_{s+1} \Leftrightarrow ZAG_{sn} < 90\% \quad (6.15)$$

und im Sinne der lexikographischen Verknüpfung von Entscheidungsregeln als primäre Entscheidungsregel definiert:

$$LXR = \begin{cases} ERA_1 \dots ZAG_{sn} < 90\% \\ ERA_2 \dots \frac{ZEG_{sn}}{ZEG_{s\bar{n}}} \leq GVZ \\ ERA_3 \dots ZEG_{s-2,\underline{n}} \geq ZEG_{sn} \leq ZEG_{s-1,\underline{n}} \end{cases} \quad (6.16)$$

mit: \underline{n} direkter Vorgänger der Personalstruktur n
 $\underline{\underline{n}}$ direkter Vorgänger der Personalstruktur \underline{n}

Weiterhin werden mit dem Abschluss der zweiten Ausbaustufe zum Entwicklungsschritt $s=10$ und der damit verbundenen Reduzierung von Funktionselementen Personalstrukturen \tilde{n} mit reduzierten Personaleinsatzkosten gefordert (zur Generierung derartiger Personal-

strukturen siehe Abb. 4-4). Wie bereits im vorhergehenden Anwendungsbeispiel erwähnt, sind zur Festsetzung der Bezugswerte für die Berechnung der Zielerreichungsgrade für sämtliche Planungsphasen jeweils eine Universalistenstruktur und eine kostenorientierte Personalstruktur zu erzeugen. Die einzelnen Zielerreichungsgrade, nach denen jede der Planungsalternativen n zu bewerten ist, werden gemäß den Formeln (6.9) bis (6.11) zu einem Gesamtzielerreichungsgrad ZEG_{sn} zusammengefasst. Ausgehend von den Planungsalternativen, aus denen für die nachfolgenden Planungsphasen weitere Personalstrukturen erzeugt werden, ergeben sich alternative Personalentwicklungspfade, die unter Berücksichtigung der Zeitpräferenz abschließend zu bewerten sind (zu den Bezugswerten und Zielerreichungsgraden für die ermittelten Personalentwicklungspfade vgl. Abb. 9-12 im Anhang).

6.2.3.2 Ergebnisse der mehrphasigen Entwicklung von Personalstrukturen

In Abbildung 6-7 sind die Gesamtzielerreichungsgrade sämtlicher Planungslösungen dargestellt, die über den gesamten Planungshorizont hinweg erzeugt werden. Die simulationsunterstützte Bewertung der Planungsphase [1;2] ergibt, dass mit der automatisierten Fertigung neuer Varianten zum Entwicklungsschritt $s=1$ die Anzahl Fertigungsmitarbeiter erhöht werden muss, da die festgelegte obere Interventionsgrenze für die Personalauslastung von $OIG = 80\%$ überschritten wird (zur Festlegung von OIG vgl. Kap. 4.2.2.3; zur Erweiterung und Reduzierung der Personenzahl vgl. Kap. 9.5.1 und 9.5.2 im Anhang). Jedoch ist für die automatisierte Fertigung der neuen Baugruppen ein Zwei-Schicht-Betrieb ausreichend, im Gegensatz zum Drei-Schicht-Betrieb der Vorserienfertigung.

Die für diese Planungsphase generierte heuristisch optimale Personalstruktur erfüllt nicht den geforderten Zielerreichungsgrad Abarbeitungsgrad von mindestens 90 %, gleiches gilt für die Planungslösung mit minimalen Personalentwicklungskosten. Aufgrund des hohen Bedarfs für eine umfassende Qualifizierung der neu hinzukommenden Mitarbeiter werden bei der weiteren Vorgehensweise die

Qualifikationen gezielt erweitert, um damit den geforderten Zielerreichungsgrad Abarbeitungsgrad einhalten zu können. Die aus dieser Personalstruktur für die nachfolgenden Planungsphasen hervorgehenden Personalstrukturen, die für die weitere Personalentwicklung zugrunde gelegt werden, erfüllen die geforderte Bedingung zur Einhaltung des Zielerreichungsgrades Abarbeitungsgrad.

Für die Planungsphasen [2;3] und [3;4] wird die Personalstruktur der Phase [1;2] weiter verfolgt. Da für diese Personalstruktur keine weiteren Personalentwicklungskosten anfallen, beträgt der Zielerreichungsgrad Personalentwicklungskosten $ZEK_{sn} = 100\%$. Damit wird im Vergleich zu den heuristisch optimalen Personalstrukturen ein höherer Gesamtzielerreichungsgrade ZEG_{sn} erreicht. Angesichts weiterhin steigender Fertigungsmengen bei den neu hinzukommenden Varianten wird für die Planungsphase [4;5] eine weitere Ausdehnung der Arbeits- und Betriebszeiten für die automatisierte Fertigung um eine dritte Schicht notwendig. Die Einführung einer dritten Schicht erfordert die Beschaffung eines weiteren Automatenführers sowie eines -bedieners. Für diese Planungsphase kann eine Planungslösung mit unveränderter Personalstruktur nicht akzeptiert werden, da dies einen deutlichen Rückgang der produktionslogistischen Zielerreichungsgrade, insbesondere ein Absinken des Zielerreichungsgrades Abarbeitungsgrad unter 90 % zur Folge hätte. Ab der Planungsphase [6;7] sind die Personalentwicklungspfade $q=1$ und $q=2$ weiter zu betrachten, da sowohl die heuristisch optimale Personalstruktur als auch die Personalstruktur mit minimalen Personalentwicklungskosten für die nachfolgenden Planungsphasen günstige Planungsergebnisse aufweisen.

Angesichts eines kurzfristigen Rückgangs der Fertigungsmengen in der Planungsphase [8;9] können die Planungslösungen aus [7;8] für die nachfolgenden Phasen [8;9] und [9;10] beibehalten werden. Erst für die Phase [10;11] sind weitere Maßnahmen zur Anpassung der Personalstruktur in Betracht zu ziehen. Dies ist dadurch begründet, dass mit dem Abschluss der zweiten Ausbaustufe zum Entwicklungsschritt $s=10$ und der damit verbundenen Reduzierung von Funktionselementen die Qualifikationen der Automatenführer und -bediener zumindest partiell vereinfacht werden können, um damit die Personal-

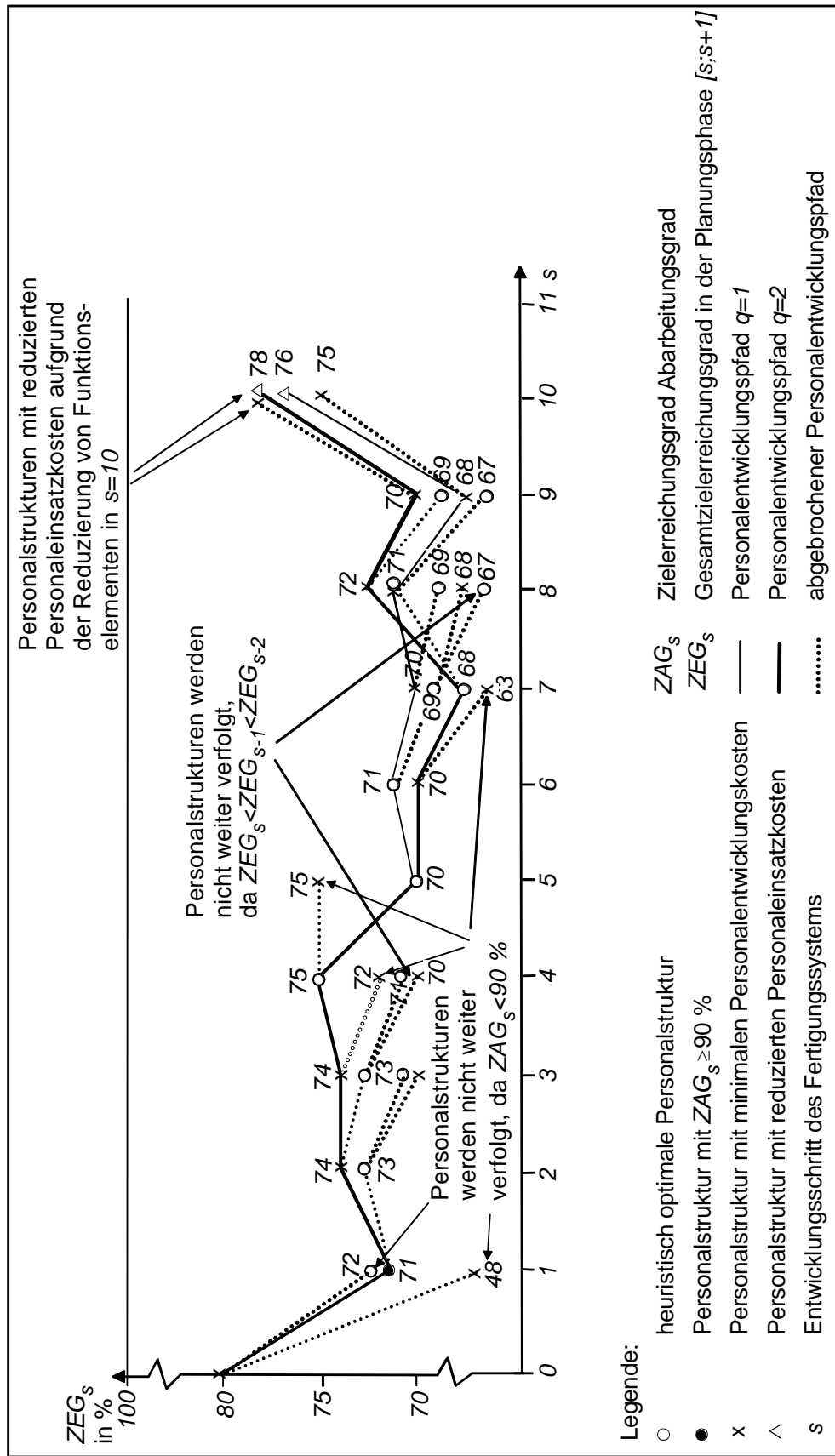


Abb. 6-7: Bewertung alternativer Personalentwicklungspfade

einsatzkosten zu reduzieren (vgl. auch Abb. 6-8). Durch diese Qualifikationsvereinfachung fallen dann allerdings einmalige Kompensationszahlungen als Personalentwicklungskosten an.

Grundsätzlich ist für das Anwendungsbeispiel anzumerken, dass mit der heuristisch optimalen Personalstruktur in den meisten Planungsphasen die geforderte Zielsetzung bezüglich des Zielerreichungsgrades Abarbeitungsgrad eingehalten werden kann. Für bestimmte Planungsphasen bleibt die Personalstruktur aus der vorherigen Phase unverändert, was Personalentwicklungskosten vermeidet, auch wenn dafür zumindest kurzfristig eine Verschlechterung der produktionslogistischen Zielerreichungsgrade in Kauf genommen werden muss.

Neben Personalstrukturen mit einem Zielerreichungsgrad Abarbeitungsgrad $ZAG \leq 90\%$, werden nach der in Formel (4.22) definierten lexikographischen Entscheidungsregel Personalentwicklungspfade bei einer Verschlechterung des Gesamtzielerreichungsgrades über zwei Planungsphasen hinweg nicht weiter verfolgt, wenn Planungsalternativen existieren für die bessere Gesamtzielerreichungsgrade ermittelt werden.

Grundsätzlich ist jedoch anzumerken, dass ein direkter Vergleich der Zielerreichungsgrade nur innerhalb einer Planungsphase möglich ist. Ein Vergleich zwischen verschiedenen Planungsphasen ist nicht zielführend, da für jede Planungsphase ein unterschiedliches Auftragsprogramm mit sich verändernden technischen Randbedingungen zugrunde gelegt wird.

6.2.3.3 Methode des abgewerteten Gesamtzielerreichungsgrades

Um aus den generierten Personalentwicklungspfaden unter Berücksichtigung der Zeitpräferenz den am besten geeigneten Pfad auszuwählen, wird die in Kapitel 5.2 dargestellte Methode des abgewerteten Gesamtzielerreichungsgrades eingesetzt. Bei einem Abwertungssatz von $i=0,01$ ergeben sich nach Formel (5.7) die folgenden abgewerteten Gesamtzielerreichungsgrade:

$$\begin{array}{ll} ZAB_1 = 683 & \text{abgewertete Gesamtzielerreichungsgrade für (6.17)} \\ ZAB_2 = 685 & \text{die Personalentwicklungspfade } q \end{array}$$

Vor dem Hintergrund, dass ab dem Entwicklungsschritt $s=6$ die Pfade $q=1$ und $q=2$ einen unterschiedlichen Verlauf aufweisen, der abgewertete Gesamtzielerreichungsgrad jedoch schon ab $s=1$ berechnet wird, fällt der numerische Unterschied von ZAB_q nur gering aus. Da sich für den Personalentwicklungspfad $q=2$ ein höherer abgewerteter Gesamtzielerreichungsgrad ergibt, wird der nachfolgend in Kapitel 6.2.4 dargestellte Personalentwicklungsplan aus $q=2$ abgeleitet. Die Bewertungsergebnisse der einzelnen Zielerreichungsgrade des ausgewählten Personalentwicklungspfades sind in Abhängigkeit von der Planungsphase in Abbildung 9-12 im Anhang dargestellt.

6.2.3.4 Berücksichtigung personalbezogener Zielsetzungen

Abbildung 6-8 zeigt die aus dem iterativen Verbesserungsprozess hervorgehende Qualifikationsmatrix eines bestimmten Teamleiters. Die Matrix stellt die Qualifikation dieses Teamleiters in der Ausgangssituation sowie die mit der Erweiterung des Fertigungssystems in $s=1$ und $s=10$ verbundene Weiterentwicklung seiner Qualifikation dar. Nicht alle aus einer Potenzialbewertung hervorgehenden positiven Werte, die für diesen Teamleiter ermittelt werden, können bei der Qualifikationserweiterung berücksichtigt werden, da die Mitarbeiter dieses Personaltyps aufgrund ihrer bereits vielfältigen Arbeitsaufgaben in der Ausgangssituation nur bedingt für neu hinzukommende Funktionselemente zur Verfügung stehen. Grundsätzlich ist anzumerken, dass im Rahmen der Potenzialbewertung für die gesamte Personalstruktur ausschließlich positive Potenzialwerte ermittelt wurden. Deshalb wird der Ausschöpfungsgrad des Vereinfachungspotenzials EPV_s (vgl. Formel 3.108) für die nachfolgende Bewertung personalbezogener Zielsetzungen nicht weiter betrachtet. In der Qualifikationsmatrix ist zu beachten, dass angesichts der zweiten Ausbaustufe in $s=10$ einige Funktionselemente, wie z.B. das Rüsten und Beladen der separaten Biegezone entfallen, da diese Funktionsele-

mente nur noch an einer Station der automatisierten Komplettfertigung erfolgen, was zu einer Reduzierung von Funktionselementen im Fertigungssystem führt.

| Teamleiter | s=0 | BM1 | BM2 | BM3 | MO4 | MO5 | AT | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ |
|------------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|----|------|------|------|------|
| | s=1 | BM1 | BM2 | BM3 | MO4 | MO5 | AT | AK 1 | AK 2 | ⊗ | ⊗ |
| | s=10 | BM1 | BM2 | BM3 | MO4 | MO5 | AT | ⊗ | ⊗ | AK 1 | AK 2 |
| Material vorbereiten | | | | | | | | 0,7 | 0,7 | 0,7 | ⊗ |
| Maschine einrichten | | | | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | 0,7 | 0,7 | 0,7 | ⊗ |
| Maschine rüsten | | | | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | 0,7 | 0,7 | 0,7 | ⊗ |
| Anlage be- u. entladen | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | ⊗ | 0,7 | 0,7 | 0,7 | ⊗ |
| Umformen | | | | | | | | | | | |
| Walzen | | | | | | | | | | | |
| Biegen | | | | | | | | | | | |
| Montieren | | | | | | | | | | | |
| Disponieren | | | | | | | | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 |
| Justieren | | | | | | | | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 |
| Steuerung | | | | | | | | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,7 |
| Kurzstörung beheben | | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Instandhaltung | | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Qualität prüfen | | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | ▲ | 0,7 | 0,7 | 1 | 1 |

Legende:

BM1 bis BM3 Betriebsmittelarbeitsplätze
MO4 bis MO5 Montagearbeitsplätze
AT Arbeitsplatz für Teamleiter
AF1 bis AF2 Arbeitsplätze für automatisierte Fertigung

⊗ Funktionselement tritt im Arbeitssystem nicht auf ▲ Funktionselement in s=10 neu zugeordnet

◻ Funktionselement aus Ausgangssituation 1 normierter Entwicklungspotenzialwert

◻ Funktionselement in s=1 neu zugeordnet

Abb. 6-8: Qualifikationsentwicklung eines Teamleiters zu den Entwicklungsschritten $s=1$ und $s=10$

In Abbildung 6-9 ist die Bewertung der Personalentwicklung nach den personalbezogenen Kennzahlen Ausschöpfungsgrad des Entwicklungspotenzials EPE_s und sequenzielle Vollständigkeit MSV_s darge-

stellt. Insbesondere für diejenigen Planungsphasen $[1;2]$, $[4;5]$, $[5;6]$ und $[7;8]$, in denen Maßnahmen der Qualifikationserweiterung umgesetzt werden, ist eine partielle Verbesserung der personalbezogenen Kriterien festzustellen. Dies zeigt sich in einer Erhöhung des Ausschöpfungsgrads des Entwicklungspotenzials EPE_s . Eine Verringerung der Kennzahl für die sequenzielle Vollständigkeit MSV_s kann lediglich in den Planungsphasen $[1;2]$ und $[7;8]$ realisiert werden. Für die übrigen Planungsphasen steigt der gewichtete Mittelwert der sequenziellen Vollständigkeit MSV_s an. Ursache dafür ist die fortwährende Erhöhung der Fertigungsmengen von Varianten, die mittels Automaten gefertigt werden. Die damit verbundene einseitige Zunahme von Be- und Entladefunktionen verringert den Spielraum für die Zuordnung von Arbeitsaufgaben nach dem Prinzip der sequenziellen Vollständigkeit.

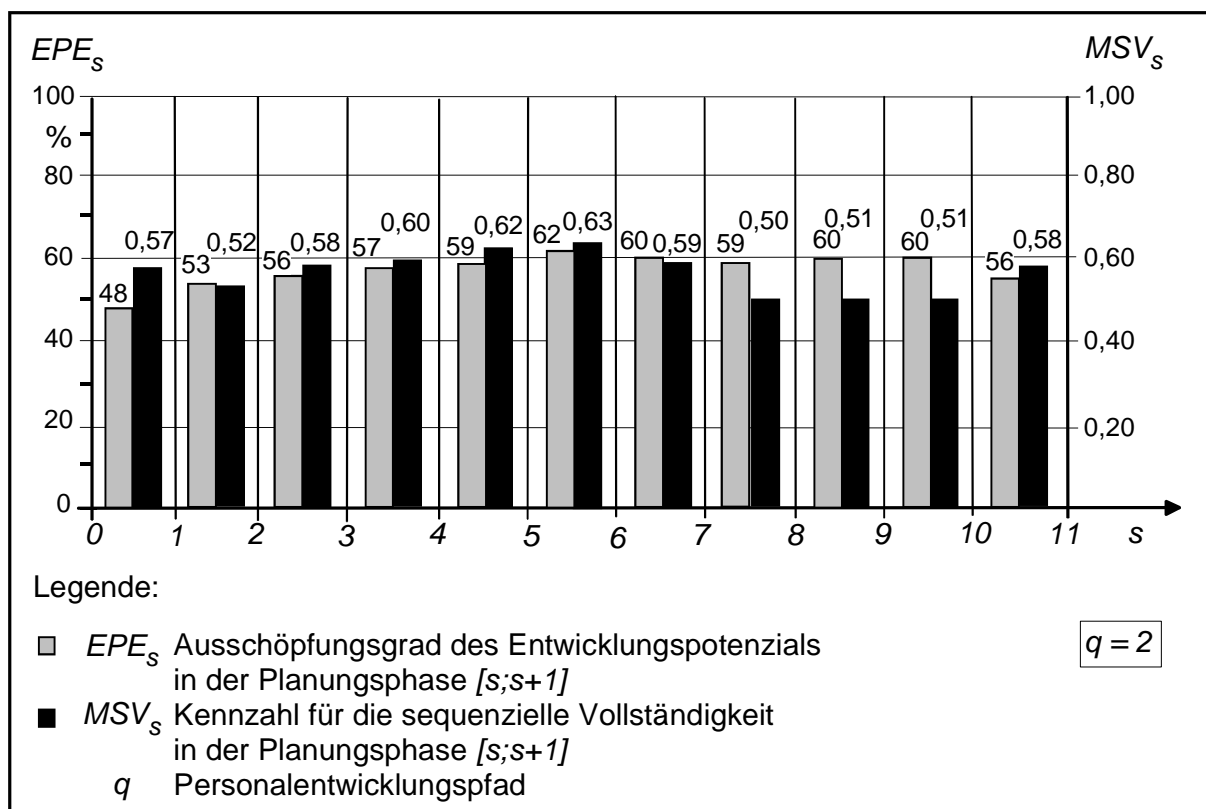


Abb. 6-9: Bewertung des ausgewählten Entwicklungspfad nach personalbezogenen Kriterien

Eine verschlechterte Bewertung nach personalbezogenen Kriterien ist auch für die Planungsphase [10;11] festzustellen. Für diese Planungsphase werden Maßnahmen zur Qualifikationsvereinfachung umgesetzt. Generell verringern sich mit jeder Qualifikationsvereinfachung die Möglichkeiten für die Berücksichtigung persönlicher Entwicklungspotenziale sowie für eine Zuordnung von sequenziell vollständigen Arbeitsaufgaben.

| s | Personalentwicklungsmaßnahme | Personaltyp | Betriebsmittel: Funktion |
|---|--|--|---|
| 1 | externe Personalbeschaffung und Unterweisung am Betriebsmittel | 1 Anlagenführer | AF1, AF2: Rüsten, Justieren, Steuern, Kurzstörung beheben, Instandhalten |
| | | 2 Anlagenbediener | AF1, AF2: Material vorbereiten, Rüsten Maschine einrichten |
| | innerbetriebliche Weiterbildung | 1 Teamleiter | AF1, AF2: Rüsten, Kurzstörung beheben, Instandhalten |
| | Unterweisung am Betriebsmittel | 1 Maschinenbediener 2 Anlagenbediener | AF1, AF2: Anlage bestücken |
| 4 | externe Personalbeschaffung und Unterweisung am Betriebsmittel | 1 Anlagenführer | AF1, AF2: Rüsten, Justieren, Steuern, Kurzstörung beheben, Instandhalten |
| | | 1 Anlagenbediener | AF1, AF2: Material vorbereiten, Rüsten Maschine einrichten, Qualität prüfen |
| | Unterweisung am Betriebsmittel | 2 Maschinenbediener | AF1, AF2: Maschine bestücken |
| 5 | Unterweisung am Betriebsmittel | 2 Maschinenbediener | AF1, AF2: Maschine bestücken |
| 7 | innerbetriebliche Weiterbildung | 2 Maschinenbediener 1 Anlagenbediener | AF1, AF2: Material vorbereiten, Rüsten Maschine einrichten |
| 10 | interne Versetzung und Qualifikationsvereinfachung | 1 Anlagenbediener 1 Maschinenbediener | AF2: Material vorbereiten, Rüsten Maschine einrichten, Anlage bestücken <i>(Funktionselemente von AF2 sind in zweiter Ausbaustufe nicht mehr im Fertigungssystem enthalten.)</i> |
| | innerbetriebliche Weiterbildung | 1 Teamleiter | AF1: Disponieren, Kurzstörung beheben, Instandhalten, Qualität prüfen |
| Legende: AF1, AF2 Arbeitsplatz für automatisierte Fertigung | | | |

Tab. 6-3: Mehrphasiger Personalentwicklungsplan für den ausgewählten Entwicklungspfad

6.2.4 Ableitung eines mehrphasigen Personalentwicklungsplans

Ein wichtiges Ergebnis der mehrphasigen Personalentwicklungsplanung ist die Bestimmung der Zeitpunkte, zu denen die Maßnahmen der Personalbeschaffung abgeschlossen sein müssen. Dies ist unter Berücksichtigung des hohen zeitlichen Vorlaufes für die Personalbeschaffung am externen Arbeitsmarkt ein wesentliches Planungsergebnis. Neben dem Entwicklungsschritt $s=1$ wird mit Hilfe des Simulationsverfahrens *ESPE-PE* der Entwicklungsschritt $s=4$ ermittelt, zu dem zusätzliches Personal bereitgestellt werden muss. Ab diesem Entwicklungsschritt ist infolge der zu erwartenden Steigerung der Fertigungsmengen die Arbeits- und Betriebszeit der automatisierten Fertigung um eine dritte Schicht auszudehnen. Die weiteren Maßnahmen zur qualitativen Personalentwicklung der vorhandenen Personalstruktur sind in Tabelle 6-3 dargestellt.

7. Zusammenfassung und Ausblick

7.1 Ergebnisse der vorliegenden Arbeit

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde ein Verfahren zur Entscheidungsunterstützung für komplexe Problemstellungen der Personalentwicklungsplanung vorgestellt. Damit können Personalstrukturen in Abhängigkeit von der Erzeugnis- und Fertigungstechnologieentwicklung rechtzeitig und zielgerichtet an den Veränderungsprozess angepasst werden. Im Gegensatz zum einmaligen Umplanungsfall, in dem Personalstrukturen an eine einzelne Veränderung der Fertigungssituation angepasst werden, steht hier die mehrphasige Entwicklungsplanung von Personalstrukturen im Vordergrund.

Mit der Berücksichtigung mehrerer Entwicklungsschritte wird das Planungsproblem erheblich komplexer: Vor dem Hintergrund, dass eine für den einmaligen Umplanungsfall generierte heuristisch optimale Lösung nicht notwendigerweise im Rahmen der mehrphasigen Planung die beste Lösung darstellt, sind Planungsalternativen zu generieren und ggf. über mehrere Entwicklungsphasen weiter zu verfolgen. Die Planung erfolgt hier simulationsunterstützt mit einem heuristischen Lösungsverfahren zur systematischen Qualifikationsanpassung.

Um die für die Personalentwicklung relevanten externen Einflussfaktoren in geeigneter Weise zu modellieren, wurde das vorhandene Simulationsverfahren *ESPE* um ein Technologiekalender-Konzept mit Personalentwicklungsfenstern erweitert. Dieses Konzept wurde ursprünglich zur Abstimmung von Erzeugnis- und Fertigungstechnologieentwicklung mit dem Ziel eingesetzt, Fortschritte bei Technologien systematisch zu erfassen und die damit verbundenen fertigungstechnischen Möglichkeiten für Produktionsunternehmen schneller nutzbar zu machen. Da jedoch ein grundlegender Handlungsbedarf in Bezug auf die Einbindung der personellen Ressourcen in diesen

Planungsprozess besteht, wurde das Technologiekalender-Konzept in der vorliegenden Arbeit entsprechend um Personalentwicklungsfenster erweitert.

Mit der Einbindung personeller Ressourcen in das Technologiekalender-Konzept können für die Personalentwicklung wesentliche Aspekte berücksichtigt werden: So setzt die erfolgreiche Einführung und Weiterentwicklung neuer Technologien die dazu erforderlichen personellen Qualifikationen voraus, die rechtzeitig geplant und mit den entsprechenden Maßnahmen (z.B. Neueinstellung bzw. Freistellung von Personal sowie Weiterbildung) beschafft werden müssen. Gleiches gilt auch für die Erzeugniseentwicklung: Aus der Einführung neuer Erzeugnisse, bis hin zu neuen Erzeugnistechnologien, aber auch aus der Weiterentwicklung vorhandener Erzeugnisse ergeben sich für vorhandene Personalstrukturen in der Regel auch neue Arbeitsanforderungen, die ohne eine gezielte qualitative Personalentwicklung nicht zu bewerkstelligen sind. Die mehrphasige Personalentwicklung hat neben diesen qualitativen Aspekten naturgemäß das Ziel, die Mitarbeiterzahl an diese Entwicklung anzupassen.

Um neben den betrieblichen Erfordernissen auch personalbezogene Aspekte bei der Entwicklung von Personalstrukturen einzubeziehen, wurde ein Konzept zur Bewertung des Personalentwicklungspotenzials implementiert. Dafür wird die Annahme zugrunde gelegt, dass nicht alle Mitarbeiter im Hinblick auf ihre persönlichen Restriktionen für eine Weiterentwicklung in Frage kommen.

Ein zweiter personalbezogener Aspekt ist die Personalentwicklung nach dem Prinzip der sequenziellen Vollständigkeit. Zu deren Umsetzung sollen die Tätigkeiten der Mitarbeiter mit vor- und nachgelagerten Arbeitsaufgaben ergänzt werden. Damit sollen Möglichkeiten für ein eigenständiges Zielsetzen, Entscheiden und Kontrollieren sowie für das Entwickeln individueller Handlungsweisen eröffnet werden.

Im Rahmen der mehrphasigen Personalentwicklungsplanung wird das betrachtete Fertigungssystem für jede im Technologiekalender beschriebene Erzeugnis- und Fertigungstechnologieentwicklung simuliert und anschließend nach produktionslogistischen, monetären sowie personalbezogenen Kriterien bewertet. Aus dieser Bewertung lassen

sich konkrete personalbedingte Engpässe ermitteln und entsprechende Qualifizierungsmaßnahmen ableiten. Das Ergebnis der mehrphasigen Personalentwicklungsplanung ist ein Personalentwicklungsplan, der die konkreten Qualifizierungsmaßnahmen gegliedert nach Zielgruppe, Inhalt, Qualifizierungskosten und Zeitfenster beinhaltet.

Aufgrund der Vielzahl von Möglichkeiten, mit geeigneten Maßnahmen Personal an die Erzeugnis- und Fertigungstechnologieentwicklung anzupassen, sind alternative Planungslösungen für jede Planungsphase zu generieren. Die sich ergebenden alternativen Personalentwicklungspfade sind unter Berücksichtigung der Zeitpräferenz zu bewerten. Auf der Basis dieser Bewertung wird der am besten geeignete Personalentwicklungspfad ausgewählt und anschließend ein Personalentwicklungsplan generiert, der sämtliche Entwicklungsphasen, denen das betrachtete Fertigungssystem unterliegt, berücksichtigt.

Im Hinblick auf den Aufwand bei der Generierung alternativer Personalentwicklungspfade können jedoch nicht alle für eine Planungsphase generierten Planungslösungen für die nachfolgenden Planungsphasen weiter untersucht werden. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde eine Vorgehensweise dargestellt, die für jede Planungsphase nur eine begrenzte Anzahl Planungsalternativen verfolgt. Ein zukünftiger Forschungsbedarf besteht darin, einen Algorithmus zu entwickeln, der die Suche nach dem geeigneten Personalentwicklungspfad auf alle möglichen für eine Planungsphase $[s; s+1]$ zu generierenden Planungsalternativen ausdehnt. Eine Ausdehnung der Suche im Lösungsraum verspricht eine weitere Verbesserung des Ergebnisses der mehrphasigen Personalentwicklungsplanung.

Das Verfahren *ESPE-PE* ist dafür geeignet, Qualifikationsdefizite aufzuzeigen, die sich auf die fachlichen Kompetenzen der Fertigungsmitarbeiter beziehen. Im Rahmen der simulationsunterstützten Vorgehensweise lässt sich dabei ein direkter Zusammenhang zwischen Qualifikationsdefiziten und den damit verbundenen negativen Auswirkungen auf die produktionslogistischen Zielgrößen aufzeigen. Steht jedoch die Ermittlung weiterer Personalentwicklungsbedarfe im Vordergrund, etwa im Hinblick auf die Sozialkompetenz (z.B. Kommunikationsvermögen und Kooperationsbereitschaft) oder die Methodenkompetenz (z.B. Arbeitsweisen und Problemlösungstechniken), so

ist der Einsatz des Verfahrens *ESPE-PE* nicht geeignet, da im Gegensatz zur Fachkompetenz bei derartigen Qualifikationen keine unmittelbaren Auswirkungen auf produktionslogistische Zielsetzungen nachgewiesen werden können. Dies gelingt nur dann, wenn es hierfür entsprechend valide quantitative Modelle gäbe. Da im Rahmen der Problemstellung jedoch ausschließlich die Entwicklung der fachlichen Kompetenzen der Fertigungsmitarbeiter im Vordergrund stand, wurde die Personalentwicklung für derartige Qualifikationsmaßnahmen nicht näher betrachtet.

7.2 Nutzung der Anwendung des neuen Verfahrens

Der Einsatz von *ESPE-PE* in zwei Anwendungsbeispielen kann die Wirkungsweise und Praktikabilität des Verfahrens bestätigen. Im ersten Anwendungsbeispiel wurde eine Neuausrichtung des Erzeugnisprogramms geplant und Planungsszenarien für die zukünftige Personalentwicklung abgeleitet. Die zweite Anwendung zeigte im Rahmen der Einführung weiterer Varianten mit einer neuen Fertigungstechnologie deutlich die Notwendigkeit zur Generierung eines mehrphasigen Personalentwicklungsplanes.

Aus der Erfahrung heraus, dass Personalentwicklungsmaßnahmen oftmals reaktiv improvisiert und ad hoc durchgeführt werden, wurde mit dem Simulationsverfahren *ESPE-PE* ein Werkzeug für die Personalentwicklungsplanung vorgestellt, das die Entwicklungspotenziale einer vorhandenen Personalstruktur systematisch erfasst und Personalstrukturen nach unterschiedlichen Zielsetzungen bewertet. Dadurch wird eine Planungsunterstützung bei der Generierung von Maßnahmen zur rechtzeitigen und zielgerichteten Personalentwicklungsplanung geboten.

Der dabei zu betrachtende Planungshorizont ist abhängig von der Laufzeit eines konkreten Erzeugnis- oder Technologie-Entwicklungsprogramms sowie von den Marktzyklen neuer Erzeugnisse. Sind in Anbetracht der Marktsituation externe Veränderungen nicht vorher-

sehbar, wie dies im ersten Anwendungsbeispiel der Fall war, so kann das Technologiekalender-Konzept als Prognoseinstrument auf der Basis von Szenarien eingesetzt werden. Die Prognose von Entwicklungen kann die Planungsverantwortlichen dazu veranlassen, die Personalentwicklungsplanung zur Vorbereitung auf unterschiedliche Szenarien zu nutzen.

7.3 Weiterführende Forschungsaspekte

Das entwickelte Verfahren war insbesondere auf einen langfristigen Zeithorizont bei der Entwicklung einer Personalstruktur ausgerichtet. Der Grundgedanke des Technologiekalender-Konzeptes, das ursprünglich zur Abstimmung langfristiger Veränderungsprozesse konzipiert wurde, sollte in zukünftigen Forschungsansätzen auch auf Problemstellungen, die sich aus verkürzten Zeithorizonten ergeben, übertragen werden. Damit kann der steigenden Anforderung an eine marktgerechte Fertigung mit zunehmender Erzeugnisvielfalt, immer kürzeren Lieferzeiten und hoher Liefertreue gerecht werden.

Um auf kurzfristige Veränderungen am Absatzmarkt schnell reagieren zu können, setzen zahlreiche Produktionsunternehmen auf dezentrale Organisationsstrukturen. Diese dezentralen Organisationseinheiten sind jedoch aufgrund eines wöchentlich oder sogar täglich variierenden Auftragsprogramms einer schwankenden Auslastung unterworfen. Ein zukünftiger Forschungsbedarf besteht darin, in Abhängigkeit von einem täglich variierenden Auftragsprogramm den Qualifikationsbedarf von Fertigungsmitarbeitern zu ermitteln, um damit die kurzfristige personelle Umsetzung von Mitarbeitern aus weniger stark ausgelasteten Organisationsstrukturen in Organisationsstrukturen mit hoher Personalauslastung zu ermöglichen. Hierfür ist die Modellierung eines wöchentlich oder sogar täglich art- und mengenspezifisch variierenden Auftragsprogramms erforderlich, um die damit verbundenen Problemstellungen der Personaleinsatzplanung zu bewältigen.

Darauf aufbauend sollte eine systematische Vorgehensweise entwickelt werden, die für dezentrale Organisationsstrukturen die Planung des kurzfristigen Personaleinsatzes unterstützt. Vorrangiges Ziel dieser Vorgehensweise sollte es dabei sein, Gruppenstrukturen so zu qualifizieren, dass sie in der Lage sind, Mitarbeiter zwischen den dezentralen Fertigungseinheiten auszutauschen, um für alle Fertigungseinheiten möglichst gleich hohe Personalauslastungen, eine möglichst vollständige Abarbeitung des Fertigungsprogramms sowie geringe Durchlaufzeiten der Kundenaufträge zu gewährleisten.

8. Literaturverzeichnis

8.1 Quellen

ArbSchG:

Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz).

Vom 7. August 1996.

ADAM, Sarwat:

Optimierung der Anlageninstandhaltung.

Berlin: Erich Schmidt Verlag, 1989.

ADAMS, Markus:

Produktorientierte Bewertung der Einsatzmöglichkeiten innovativer Technologien.

Aachen, TH Diss., 1996.

AJAEFOBI, Joseph O.; WESTON, Richard H.:

An Approach to Modelling and Matching Human System Competencies to Engineering Processes.

In: Human Aspects in Production Management.

Hrsg.: ZÜLCH, Gert; STOWASSER, Sascha; JAGDEV, Harinder S.

Aachen: Shaker Verlag, 2003, S. 46-52.

(esim - European Series in Industrial Management, vol. 5)

ALIOTH, Andreas:

Entwicklung und Einführung alternativer Arbeitsformen.

In: Schriften zur Arbeitspsychologie, Band 27.

Hrsg.: ULICH, Eberhard.

Bern, Stuttgart, Toronto: Verlag Hans Huber, 1980.

(zugl. St. Gallen, Uni Diss., 1979)

BAMBERG, Günther; BAUER, Franz:

Statistik.

München, Wien: R. Oldenbourg-Verlag, 10. Auflage 1998.

(Oldenbourgs Lehr- und Handbücher der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften)

- BAMBERG, Günter; COENENBERG, Adolf Gerhard:
 Betriebswirtschaftliche Entscheidungslehre.
 München: Verlag Franz Vahlen 1974.
 (Wiso-Kurzlehrbücher, Reihe Betriebswirtschaft)
- BARDENS, Rupert E.:
 Rechnergestützte Qualifikationsplanung – Entwicklung eines Modells für
 die qualitative technologieorientierte Personalarbeit.
 Berlin, Techn. Uni Diss., 1987.
- BARTENSCHLAGER, H. P.; LAUENSTEIN, T.; NICOLAISEN, P. u.a.:
 Industrierobotereinsatz.
 Düsseldorf: VDI Verlag, 1982.
 (Schriftenreihe Humanisierung des Arbeitslebens, Band 23)
- BECKER, Manfred:
 Personalentwicklung.
 Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag, 3. Auflage 2002.
- BENZ-OVERHAGE, Karin; BRUMLOP, Eva; FREYBERG, Thomas von u.a.:
 Der Einsatz von Computer-Technologien in der Fertigungstechnik und
 Möglichkeiten der Arbeitsgestaltung.
 In: Technologieentwicklung, Rationalisierung und Humanisierung.
 Hrsg.: BRANDT, Gerhard.
 Nürnberg: Institut für Arbeitsmarkt und Berufsforschung der Bundesanstalt
 für Arbeit, 1981, S. 39-68.
- BETGE, Peter:
 Investitionsplanung.
 München: Verlag Franz Vahlen, 4. Auflage 2000.
- BIRCHLER, Claude; MARTIN, Thomas:
 Kostenminimierung in der Gießereiproduktion.
 In: Transfer - Technische Rundschau,
 Bern, 96(1994)19, S. 24-28.
- BLOHM, Hans; LÜDER, Klaus:
 Investition.
 München: Verlag Franz Vahlen, 8. Auflage 1995.
- BORDOLOI, Sanjeev K.; MATSUO, Hierofumi:
 Human Resource Planning in Knowledge-intensive Operations: A Model
 for Learning with Stochastic Turnover.
 In: European Journal of Operational Research,
 Amsterdam, 130(2000)1, S. 169-189.

BRINKMEIER, Bernd:

Prozeßorientiertes Prototyping von Organisationsstrukturen im Produktionsbereich.

Aachen: Shaker Verlag, 1998.

(ifab-Forschungsberichte aus dem Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation der Universität Karlsruhe, Band 17)

BRINKMEIER, Bernd; STRATE, Oliver:

Simulation Aided Planning Games.

In: Design of Organisational Structures, Work Systems and Man-Machine-Interaction.

Hrsg.: ZÜLCH, Gert.

Aachen: Shaker Verlag, 1998, S. 97-110.

(ifab-Forschungsberichte aus dem Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation der Universität Karlsruhe, Band 16)

BULLINGER, Hans-Jörg; RALLY, Peter; SCHWEIZER, Wolfgang:

Simulation flexibler Arbeits- und Nutzungszeitmodelle.

In: VDI-Zeitschrift,

Düsseldorf, 132(1990)4, S. 55-59.

BUNDY, Alan:

Catalogue of Artificial Intelligence Techniques.

Berlin, Heidelberg, New York u.a.: Springer Verlag, 3. Auflage 1990.

BURGSTAHLER, Bernd:

Synchronisation von Produkt- und Produktionsentwicklung mit Hilfe eines Technologiekalenders.

Braunschweig, Uni Diss., 1997.

(Schriftenreihe des Instituts für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik der Technischen Universität Braunschweig – ISBN 3-8027-8636-X)

CHUNG, Chen; KRAJEWSKI, Lee J.:

Planning Horizons for Master Production Scheduling.

In: Journal of Operations Management,

Amsterdam, 2(1984)4, S. 389-406.

CHUNG, Christopher A.:

Human Issues Influencing the Successful Implementation of Advanced Manufacturing Technology.

In: Journal of Engineering and Technology Management,

Amsterdam, 13(1996)4, S. 283-299.

- COCHRAN, J. K.; CHU, D. E.; CHU, M. D.:
Optimal Staffing for Cyclically Scheduled Processes.
In: International Journal of Production Research,
London, 35(1997)12, S. 3393-3403.
- CONRADI, Walter:
Personalentwicklung.
Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag, 1983.
- DIN EN ISO 10075:
Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung.
Teil 1: Allgemeines und Begriffe.
Berlin: Beuth Verlag, 2000.
- DRUMM, Hans Jürgen:
Personalwirtschaftslehre.
Berlin, Heidelberg, New York u.a.: Springer Verlag, 3. Auflage 1995.
- DUECK, Gunter:
New Optimization Heuristics: The Great Deluge Algorithm and the Record-
to-Record Travel.
In: Journal of Computational Physics,
San Diego CA u.a., 104(1993)1, S. 86-92.
- DUECK, Gunter; SCHEUER, Tobias; WALLMEIER, Hans-Martin:
Toleranzschwelle und Sintflut: neue Ideen zur Optimierung.
In: Spektrum der Wissenschaft,
Heidelberg, 10(1993)3, S. 42-51.
- EIDENMÜLLER, Bodo:
Die Produktion als Wettbewerbsfaktor.
Köln: Verlag TÜV Rheinland, 3. Auflage 1995.
- EMMERT, Dietrich:
Planung von Investitionsprogrammen.
Ludwigsburg, Berlin: Verlag Wissenschaft & Praxis, 1994.
(Schriftenreihe Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, Band 27)
- ERNST, Wolfgang:
Beitrag zur Planung der Personalstruktur im Fertigungsbereich.
Karlsruhe, Uni Diss., 1991.
(ifab-Forschungsberichte aus dem Institut für Arbeitswissenschaft und
Betriebsorganisation der Universität Karlsruhe, Band 1 - ISSN 0940-0559)

ERNST, Wolfgang; HEITZ, Max-Jürgen:

Systematische Untersuchung der Auswirkungen unterschiedlicher Formen des Personaleinsatzes im Fertigungsbereich mit Hilfe des Simulationsverfahrens SIMULAST.

Arbeitsbericht zum DFG-Projekt ZU 55/1-1.

Karlsruhe Uni: Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation, 1991.

(Pub.-Nr. 0341003)

EVERSHEIM, Walter; BÖHLKE, Uwe H.; MARTINI, Claus J. u.a.:

Innovativer mit dem Technologiekalender.

In: Harvard Business Manager,

Hamburg, 18(1996)1, S. 105-112.

EVERSHEIM, Walter; GERHARDS, Anne; WALKER, Ralf:

Elektronisches Technologiemanagement.

In: wt Werkstattstechnik,

Düsseldorf, 91(2001)1, S. 39-42.

GÖTZE, Uwe; BLOECH, Jürgen:

Investitionsrechnung.

Berlin, Heidelberg, New York u.a.: Springer Verlag, 2. Auflage 1995.

GRAF, Karl-Robert:

Systematische Untersuchung von Einflußgrößen einer Fertigungssteuerung nach dem Zieh- und Schiebepinzipp.

Karlsruhe, Uni Diss., 1991.

(ifab-Forschungsberichte aus dem Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation der Universität Karlsruhe, Band 2 - ISSN 0940-0559)

GRANOW, Rolf:

Simulation hilft bei der Auslegung von Werkstattfertigungen.

In: VDI-Zeitschrift,

Düsseldorf, 127(1985)6, S. 189-194.

GROB, Robert; HAFFNER, Helmut:

Planungsleitlinien Arbeitsstrukturierung.

Berlin, München: Siemens AG, Abt. Verlag, 1982.

GROBEL, Thomas:

Simulation der Organisation rechnerintegrierter Produktionssysteme.

Karlsruhe, Uni: Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation, 1992.

(ifab-Forschungsberichte aus dem Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation der Universität Karlsruhe, Band 3 - ISSN 0940-0559)

GROBEL, Thomas:

Analyse der Einflüsse auf die Aufbauorganisation von
Produktionssystemen.

Karlsruhe, Uni Diss., 1993.

(ifab-Forschungsberichte aus dem Institut für Arbeitswissenschaft und
Betriebsorganisation der Universität Karlsruhe, Band 6 - ISSN 0940-0559)

HACKER, Winfried:

Software-Ergonomie: Gestalten rechnergestützter Arbeit?

In: Software Ergonomie 1987.

Hrsg.: SCHÖNPFLUG, Wolfgang.

Stuttgart: B. G. Teubner Verlag, 1987, S. 31-54.

HARZALLAH, Mounira; VERNADAT, François:

IT-based Competency Modelling and Management: From Theory to
Practice in Enterprise Engineering and Operations.

In: Computers in Industry,

Amsterdam, 48(2002)6, S. 157-179.

HARZALLAH, Mounira; VERNADAT, François:

Un outil de gestion des compétences acquises et requises implanté à trémery
dans le groupe PSA.

In: Conception, Analyse et Gestion des Systèmes Industriels.

Hrsg.: DOLGUI, Alexandre; VERNADAT, François.

San Diego CA u.a.: Society for Computer Simulation International, 2001,
Volume 2, S. 699-706.

HAYES, Robert H.; WHEELRIGHT, Steven C.:

Restoring our Competitive Edge, Competing through Manufacturing.

New York NY: John Wiley and Sons, 1984.

HEEG, Franz J.; MÜNCH, Joachim:

Handbuch Personal- und Organisationsentwicklung.

Stuttgart, Dresden: Klett-Verlag, 1993.

HEEL, Jochen:

Reorganisation des Personaleinsatzes mit Hilfe der personalorientierten
Simulation.

Aachen: Shaker Verlag, 1999.

(ifab-Forschungsberichte aus dem Institut für Arbeitswissenschaft und
Betriebsorganisation der Universität Karlsruhe, Band 18)

- HEEL, Jochen; KRÜGER, Jan (Hrsg.):
 Personalorientierte Simulation - Praxis und Entwicklungspotential.
 Aachen: Shaker Verlag, 1999.
 (ifab-Forschungsberichte aus dem Institut für Arbeitswissenschaft und
 Betriebsorganisation der Universität Karlsruhe, Band 19)
- HEINHOLD, Michael:
 Investitionsrechnung.
 München, Wien: R. Oldenbourg Verlag, 6. Auflage 1994.
- HEITZ, Max-Jürgen:
 Ein engpaßorientierter Ansatz zur simulationsunterstützten Planung von
 Personalstrukturen.
 Karlsruhe, Uni Diss., 1994.
 (ifab-Forschungsberichte aus dem Institut für Arbeitswissenschaft und
 Betriebsorganisation der Universität Karlsruhe, Band 7 - ISSN 0940-0559)
- HEITZ, Max-Jürgen; ERNST, Wolfgang; WALDHIER, Thomas:
 Planung von Qualifikationsstrukturen mit Hilfe der Simulation.
 In: wt - Werkstattstechnik,
 Berlin, 81(1991)3, S. 168-170.
- HERZBERG, Frederick; MAUSNER, Bernard; SNYDERMAN, Barbara B.:
 The Motivation to Work.
 New York NY: John Wiley and Sons, 2. Auflage 1959.
- HINTERHUBER, Hans H.:
 Strategische Unternehmensführung.
 Berlin, New York: Verlag Walter de Gruyter, 5. Auflage 1992.
- HÖFER, Claudia E.:
 Betriebswirtschaftliche Bewertung von Qualifizierungsinvestitionen.
 Wiesbaden: Verlag Dr. Th. Gabler, Deutscher Universitäts-Verlag, 1997.
- HOPP, Wallace J.; SPEARMAN, Mark. L.:
 Factory Physics: Foundations of Manufacturing Management.
 Boston MA: McGraw-Hill, 1996.
- ISLO, H. E.; SOHLENIUS, G.:
 A Computer Support System for Manufacturing Based on Discrete Event
 Models.
 In: Annals of the CIRP,
 Bern, 40(1991)1, S. 459-462.

- JOCHUM, Eduard; PÖSSNECKER, Falk:
Potenzialbeurteilung von Führungsnachwuchskräften (Dürr GmbH) und
Industrieforschern (Dr.-Ing. h.c. F. Porsche AG)
Hrsg.. SELBACH, Ralf.
In: Handbuch Mitarbeiterbeurteilung.
Wiesbaden: Verlag Dr. Th. Gabler, 1992, S. 515-540.
- KANE, Hamdjatou; BAPTISTE, Pierre:
Un modèle d'ajustement de la capacité à la charge basé sur les Ressources
humaines.
In: Conception, Analyse et Gestion des Systèmes Industriels.
Hrsg.: DOLGUI, Alexandre; VERNADAT, François.
San Diego CA u.a.: Society for Computer Simulation International, 2001,
Volume 2, S. 723-727.
- KERN, Horst; SCHUMANN, Michael:
Industriearbeit und Arbeiterbewusstsein, Teil I.
Frankfurt/M.: Europäische Verlagsanstalt, 3. Auflage 1970.
(Wirtschaftliche und soziale Aspekte des technischen Wandels in der
Bundesrepublik Deutschland, Band 8)
- KLAUKE, Adolf:
Entwicklung und Erprobung eines Simulationsmodells zur Planung der
Arbeitsteilung an Arbeitssystemen mit numerisch-gesteuerten Werkzeug-
maschinen.
Aachen, TH Diss., 1980.
- KLAUKE, Adolf; ZÜLCH, Gert:
Simulation von Arbeitsstrukturen in der Teilefertigung.
In: Moderne Fabrikorganisation.
Hrsg.: BELOW, F. von; BORGES, A.; HILDEBRANDT, F.
Berlin, Heidelberg, New York u.a.: Springer-Verlag, 1985, S. 473-498.
- KLINGER, Angela:
Referenzmodell für die Abbildung von Personalsteuerung in der Simulation.
San Diego, Erlangen, Gent u.a.: Society for Computer Simulation
International, 1999.
- KNEBEL, Heinz:
Taschenbuch für Personalbeurteilung.
Heidelberg: Sauer-Verlag, 10. Auflage 1999.

- KNÖLL, Martin Walter:
Die Träger der betrieblichen Personalentwicklung (PE) – Eine handlungsorientierte betriebswirtschaftliche Analyse der Personalentwicklung unter besonderer Berücksichtigung von Trägeraspekten.
Freiburg, Uni Diss., 1997.
- KOSSBIEL, Hugo:
Personalentwicklung.
Wiesbaden: Verlag Dr. Th. Gabler, 1982.
- KOTHA, Suresh; ORNE, Daniel:
Generic Manufacturing Strategies: A Conceptual Synthesis.
In: Strategic Management Journal,
New York NY: 10(1989)3, S. 211-231.
- KOTLER, Philip; BLIEMEL, Friedhelm:
Marketing-Mangement.
Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag, 8. Auflage 1995.
- KRUSCHWITZ, Lutz:
Investitionsrechnung.
München, Wien: R. Oldenbourg Verlag, 7. Auflage 1998.
- KUWAN, Helmut; THEBIS, Frauke:
Berichtssystem Weiterbildung VIII.
Hrsg.: Bundesministerium für Bildung und Forschung.
Bonn, 2001.
(BMBF Studie)
- LUNZE, Gert:
Optimierung des Bediener-Einsatzes in Fertigungsprozessen.
In: Simulationstechnik.
Hrsg.: KUHN, Axel; WENZEL, Sigrid.
Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft, 1997,
S. 468-475.
- MAG, Wolfgang:
Einführung in die betriebliche Personalplanung.
München: Verlag Franz Vahlen, 2. Auflage 1998.
- MASLOW, Abraham A.:
Motivation and Personality.
New York NY: Harper, 1954.

- MJEMA, Emanuel:
 A Simulation based Method for Determination of Personnel Capacity Requirement in the Maintenance Department.
 Aachen: Shaker Verlag, 1998.
 (Schriftenreihe Rationalisierung und Humanisierung, Band 12)
- MÜLDER, Wilhelm; SEIBT, Dietrich:
 Methoden- und computergestützte Personalplanung.
 Köln: Datakontext-Fachverlag, 1994.
- NEUMANN, Klaus; MORLOCK, Martin:
 Operations Research.
 München, Wien: Carl Hanser Verlag, 1993.
- NITSCH, Jürgen; UDRIS, Ivars:
 Beanspruchung im Sport.
 Bad Homburg: Wilhelm Limpert-Verlag, 1976.
 (Schriftenreihe Training und Beanspruchung, Band 4)
- NÜBGENS, Karl-Heinz:
 Führungsaufgabe Personalwesen.
 Berlin, New York: Verlag Walter de Gruyter, 1975.
- OHSE, M.; ERHARDT, I.; GEBHARDT H. u.a.:
 Anwendung der Simulation in der Arbeitsgestaltung.
 In: Handbuch Simulationsanwendungen in Produktion und Logistik, Band 7.
 Hrsg.: KUHN, Axel; REINHARDT, Adolf; WIENDAHL, Hans-Peter.
 Braunschweig, Mainz: Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft, 1993, S. 109-140.
- PENNATHUR, Arunkumar; MITAL, Anil:
 Technology Change and Worker Mobility Through Training: A Roadmap.
 In: The 15th International Conference on Production Research.
 Hrsg.: HILLERY, M. T.; LEWIS, H. J.
 Limerick: University, Department of Manufacturing and Operations Engineering, 1999, S. 1297-1300.
- PEPELS, Werner:
 Produktmanagement.
 München, Wien: R. Oldenbourg Verlag, 3. Auflage 2001.

REINBERG, Alexander:

Arbeitsmarktrelevante Aspekte der Bildungspolitik.

Hrsg.: Institut für Arbeitsmarkt- und Berufsforschung der Bundesanstalt für Arbeit.

Nürnberg, 2001.

(Beiträge zur Arbeitsmarkt- und Berufsforschung, Nr. 245)

REFA – Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation (Hrsg.):

Entgeltdifferenzierung.

München: Carl Hanser Verlag, 1987.

(Methodenlehre der Betriebsorganisation)

REFA – Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation (Hrsg.):

Planung und Gestaltung komplexer Produktionssysteme.

München: Carl Hanser Verlag, 1990.

(Methodenlehre der Betriebsorganisation)

REFA – Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation (Hrsg.):

Planung und Steuerung, Teil 1.

München: Carl Hanser Verlag, 1991.

(Methodenlehre der Betriebsorganisation)

(=1991a)

REFA – Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation (Hrsg.):

Planung und Steuerung, Teil 2.

München: Carl Hanser Verlag, 1991.

(Methodenlehre der Betriebsorganisation)

(=1991b)

REFA – Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation (Hrsg.):

Planung und Steuerung, Teil 3.

München: Carl Hanser Verlag, 1991.

(Methodenlehre der Betriebsorganisation)

(=1991c)

REFA – Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation (Hrsg.):

Planung und Steuerung, Teil 4.

München: Carl Hanser Verlag, 1991.

(Methodenlehre der Betriebsorganisation)

(=1991d)

REFA – Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation (Hrsg.):

Datenermittlung.

München: Carl Hanser Verlag, 1997.

(Methodenlehre der Betriebsorganisation)

RIEDMILLER, Simone:

Der Prozesskalender – Eine Methodik zur marktorientierten Entwicklung von Prozessen.

Karlsruhe, Uni Diss., 1998.

(Forschungsberichte aus dem Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebstechnik der Universität Karlsruhe, Band 82 – ISSN 0724-4967)

ROETHLISBERGER, Fritz J.; DICKSON, William J.:

Management and the worker.

Cambridge MA: Harvard University Press, 1939.

ROTTINGER, Sven; MEIER, Marc Andreas:

Analyse und Evaluation kommerzieller Simulationsverfahren mit dem personalorientierten Verfahren *ESPE*.

Unveröffentlichte Studie im Rahmen des Sonderforschungsbereiches 346.

Karlsruhe Uni: Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation, Dezember 2002.

(Pub.-Nr. 1472001)

ROTTINGER, Sven; ZÜLCH, Gert:

Personnel Development and Assignment Based upon the Technology Calendar Concept.

In: Human Aspects in Production Management.

Hrsg.: ZÜLCH, Gert; STOWASSER, Sascha; JAGDEV, Harinder S.

Aachen: Shaker Verlag, 2003, S. 53-59.

(esim - European Series in Industrial Management, vol. 5)

SAVÉN, Ruth Sara; OLHAGER, Jan:

Integration of Product, Process and Functional Orientations: Principles and a Case Study.

In: IFIP WG5.7 International Conference on Advanced Production Management Systems, APMS 2002, Pre-prints.

Hrsg.: JAGDEV, Hari u.a.

Eindhoven: Technische Universiteit, 2002, S. 375-389.

SCHÄFER, Erich:

Grundlagen der Marktforschung.

Köln, Wiesbaden: Westdeutscher Verlag, 3. Auflage 1953.

SCHOLZ, Christian:

Personalmanagement.

München: Verlag Franz Vahlen, 4. Auflage 1994.

SCHWEIZER, Wolfgang:

Simulation of Team Work in Assembly Systems.

In: Simulation in Manufacturing Systems.

Hrsg.: KUEHN, W.; NAGARUR, N. N.

Bangkok: Asian Institute of Technology, 1994, S. 65-71.

SCHWEIZER, Wolfgang:

Entwicklung eines interaktiven Simulators auf der Basis von Petri-Netzen zur Modellierung und Bewertung hybrider Montagestrukturen.

Berlin, Heidelberg, New York u.a.: Springer-Verlag, 1992.

(IPA-IAO Forschung und Praxis, Band 162)

SIEGWART, Hans; SENTI, Richard:

Product Life Cycle Management.

Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag, 1995.

STROHMEIER, Stefan:

Die Integration von Unternehmens- und Personalplanung.

Wiesbaden: Verlag Dr. Th. Gabler, 1995.

TAYLOR, Frederick Winslow:

Die Grundsätze wissenschaftlicher Betriebsführung.

Hrsg.: ROESLER, Rudolf.

München, Wien: R. Oldenbourg Verlag, 1913.

TINBERGEN, Jan:

Einführung in die Ökonometrie.

Wien, Stuttgart: Humboldt-Verlag, 1952.

TRÄNKLE, Ulrich:

Auswirkungen der Gestaltung der Antwortskala auf quantitative Urteile.

In: Zeitschrift für Sozialpsychologie,

Bern, Göttingen, 18(1987)1, S. 88-99.

TUBUSMETALL Lüttgen; ZÜLCH, Gert; BRAUN, Wolfgang Jürgen;

SCHREIBER, Martin:

Arbeitsgestaltung bei der Herstellung von Blechhalbzeugen.

Frankfurt/M., New York: Campus Verlag, 1995.

(Schriftenreihe Humanisierung des Arbeitslebens, Band 102)

ULICH, Eberhard:

Arbeitspsychologie.

Stuttgart: Schäffer-Poeschel Verlag, 4. Auflage 1998.

- VATTEROTH, Hans-Christian:
 Standard-Software für die computergestützte Personalplanung.
 In: Methoden- und computergestützte Personalplanung.
 Hrsg.: MÜLDER, Wilhelm; SEIBT, Dietrich.
 Köln: Datakontext-Fachverlag, 1994.
- VDI 3633, Blatt 6:
 Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen.
 Blatt 6: Abbildung des Personals in Simulationsmodellen.
 Berlin: Beuth Verlag, 2001.
- VDI 4004, Blatt 2:
 Zuverlässigkeitskenngrößen.
 Blatt 2: Überlebenskenngrößen.
 Berlin: Beuth Verlag, 1986.
- VDI 4004, Blatt 3:
 Zuverlässigkeitskenngrößen.
 Blatt 3: Kenngrößen der Instandhaltbarkeit.
 Berlin: Beuth Verlag, 1986.
- VOLLSTEDT, Thorsten:
 Simulationsunterstützte Personaleinsatzplanung auf Basis eines abnutzungsorientierten Instandhaltungskonzeptes.
 Aachen: Shaker Verlag, 2003.
 (ifab-Forschungsberichte aus dem Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation der Universität Karlsruhe, Band 32)
- WARNECKE, H. J.; BULLINGER, H.-J.; HICHERT, R.; VOEGELE, A.:
 Wirtschaftlichkeitsrechnung für Ingenieure.
 München, Wien: Carl Hanser Verlag, 3. Auflage 1996.
- WEDEMEYER, Hans-Georg:
 Entscheidungsunterstützung in der Fertigungssteuerung mit Hilfe der Simulation.
 Düsseldorf: VDI-Verlag, 1989.
 (Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 2, Nr. 176)
- WESTKÄMPER, Engelbert:
 Strategische Investitionsplanung mit Hilfe eines Technologiekalenders.
 In: Strategische Investitionsplanung für neue Technologien in der Produktion.
 Hrsg.: WILDEMAN, Horst.
 München: gfmt-Gesellschaft für Management und Technologie-Verlags KG, 1986, S. 143-182.

- WESTKÄMPER, Engelbert; BAUER, Andreas; ZAHN, Alexander:
Einführung einer neuen Produktionstechnologie.
In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb.
München, 94(1999)4, S. 172-176.
- WIENDAHL, Hans Peter:
Betriebsorganisation für Ingenieure.
München, Wien: Carl Hanser Verlag, 4. Auflage 1997.
- WILDEMANN, Horst:
Einführungsstrategien für die computerintegrierte Produktion (CIM).
München: gfmt-Gesellschaft für Management und Technologie-Verlags
KG, 1990.
- WILDEMANN, Horst:
Optimierung von Entwicklungszeiten: Just-in-time in Forschung & Ent-
wicklung und Konstruktion.
München: Transfer-Centrum-Verlag, 1993.
(=1993a)
- WILDEMANN, Horst:
Fertigungsstrategien – Reorganisationskonzepte für eine schlanke Produk-
tion und Zulieferung.
München: Transfer-Centrum-Verlag, 1993.
(=1993b)
- WILDEMANN, Horst:
Die modulare Fabrik – Kundennahe Produktion durch Fertigungssegmentie-
rung.
München: Transfer-Centrum-Verlag, 5. Auflage 1998.
- WISSEMA, J. G.; BRAND, A. F.; VAN DER POHL, H. W:
The Incorporation of Management Development in Strategic Management.
In: Strategic Management Journal.
Chichester (West Sussex) New York NY, 2(1981)3, S. 361-377.
- ZÜLCH, Gert:
Anwendung der Profilmethode bei der qualitativen Personaleinsatzplanung.
In: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft,
Köln, 30(2 NF)(1976)4, S. 226-233.

ZÜLCH, Gert:

Entwicklung eines lexikographischen Zuordnungsmodells zur qualitativen Personaleinsatzplanung auf der Basis gemischt skaliertes Anforderungs- und Fähigkeitsmerkmale.

Aachen, TH Diss., 1979.

ZÜLCH, Gert:

Analyse von Organisationsformen im Fertigungsbereich mit Hilfe der Simulation.

In: Gestaltung CIM-fähiger Unternehmen.

Hrsg.: WILDEMANN, Horst.

München: gfmt-Verlags KG, 1989, S. 291-312.

(HAB-Forschungsberichte der Hochschulgruppe Arbeits- und Betriebsorganisation, Band 1)

ZÜLCH, Gert:

Staff Oriented Simulation of New Production Systems.

In: Production Economics: Issues and Challenges for the 90's.

Hrsg.: GRUBBSTRÖM, Robert; HINTERHUBER, Hans Hartmann;

LUNDQUIST, Janerik.

Amsterdam u.a.: Elsevier Science, 1991, S. 471-478.

ZÜLCH, Gert:

Ansätze und Defizite einer arbeitsorganisatorischen Methodenlehre.

Teil 2: Beiträge zur arbeitsorganisatorischen Methodenlehre.

In: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft,

Köln, 46(18 NF)(1992)4, S. 243-249.

(=1992a)

ZÜLCH, Gert:

Einbeziehung der Arbeitsorganisation in die Simulation von Produktionsstrukturen – ein neuer Ansatz zur Unterstützung einer ganzheitlichen Fabrikplanung.

In: Rechnergestützte Fabrikplanung '92 – Vom Modell zur zukunftssicheren Fabrik.

Hrsg.: VDI-Gesellschaft Produktionstechnik (ADB).

Düsseldorf: VDI-Verlag, 1992, S. 31-48.

(VDI-Berichte 949)

(=1992b)

ZÜLCH, Gert:

Arbeitswirtschaft.

In: Produktion und Management "Betriebshütte", Teil 2.

Hrsg.: EVERSHEIM, Walter; SCHUH, Günther.

Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 7. Auflage 1996, S. 12-94
– 12-124.

ZÜLCH, Gert; BONGWALD, Olaf; KRÜGER, Jan:

Personalorientierte Simulation als Bindeglied zwischen Zeitwirtschaft und
Fertigungssteuerung.

In: FB/IE Zeitschrift für Unternehmensentwicklung und Industrial Engineering,

Darmstadt, 47(1998)2, S. 79-84.

ZÜLCH, Gert; BRINKMEIER, Bernd:

Simulation Aided Planning of Work Structures.

In: Simulation Games and Learning in Production Management.

Hrsg.: RIIS, Jens O.

London u.a.: Chapman & Hall, 1995, S. 91-104.

ZÜLCH, Gert; ERNST, Wolfgang:

Personenbezogene Simulation zum Planen von Fertigungsnestern.

In: Arbeitsvorbereitung,

München, 27(1990)6, S. 220-224.

ZÜLCH, Gert; ERNST, Wolfgang:

Simulationsgestützte Untersuchung zur Personalstruktur in Fertigungsbereichen.

In: Simulation und Verstehen.

Hrsg.: ASIM - Arbeitskreis für Simulation in der Fertigungstechnik.

München: gfmt Verlags KG, 1991, S. 415-428.

ZÜLCH, Gert; GROBEL, Thomas:

Schlanke Produktion - eine Herausforderung an die Organisationsplanung.

In: Produktion im Umbruch - Herausforderungen an das Management.

Hrsg.: NEDEß, Christian.

St. Gallen: gfmt-Gesellschaft für Management und Technologie, 1993, S.
387-427.

(Hochschulgruppe Arbeits- und Betriebsorganisation HAB, Forschungsbericht 5)

- ZÜLCH, Gert; HEEL, Jochen; BRINKMEIER, Bernd:
 Personalorientierte Simulation als Hilfsmittel zur Strukturierung von
 Arbeitsaufgaben.
 In: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft,
 Köln, 52(24 NF)(1998)3, S. 176-184.
- ZÜLCH, Gert; HEEL, Jochen; KRÜGER, Jan:
 Verkürzte Planungshorizonte und detaillierte Menschmodellierung als
 zukünftige Aspekte der personalorientierten Simulation.
 In: Simulation und Animation '98.
 Hrsg.: LORENZ, P.; PREIM, B.
 Delft, Erlangen, Gent u.a.: Society for Computer Simulation Int., 1998, S.
 349-360.
 (=1998a)
- ZÜLCH, Gert; HEEL, Jochen; KRÜGER, Jan:
 Simulationsunterstützte Reorganisation von Personalstrukturen im Ferti-
 gungsbereich.
 In: Jahresdokumentation der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft.
 Hrsg.: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft.
 Dortmund: GfA Press, 1998, S. 73.
 (=1998b)
- ZÜLCH, G.; HEEL, J.; LUNZE, G. u.a.:
 Personaleinsatz.
 In: Simulation in Produktion und Logistik.
 Hrsg.: KUHN, Axel; RABE, Markus.
 Berlin, Heidelberg, New York u.a.: Springer-Verlag, 1998, S. 91-126.
- ZÜLCH, Gert; ROTTINGER, Sven:
 Planung und Steuerung des kurzfristigen Personaleinsatzes.
 In: Rechnerintegrierte Konstruktion und Fertigung von Bauteilen.
 Abschlussbericht 1.1.2000 – 31.12.2002.
 Karlsruhe Uni: Sonderforschungsbereich 346, 2002, S. 255-280.
 (Pub.-Nr. 0022011)
- ZÜLCH, Gert; ROTTINGER, Sven:
 Approaches for Personnel Development Planning – Based on the
 Technology Calendar Concept.
 In: Thirteenth International Working Seminar on Production Economics.
 Igls/Innsbruck, February 16-20, 2004.
 Pre-prints, Volume 2, 2004, S. 625-638. (=2004a)

ZÜLCH, Gert; ROTTINGER, Sven:

Personalentwicklungsplanung auf der Basis des Technologiekalender-Konzeptes.

In: Industrie Management,

Berlin, 20(2004)2, S. 58-61. (=2004b)

ZÜLCH, Gert; ROTTINGER, Sven; VOLLSTEDT, Thorsten:

Entwicklung von Optimierungsstrategien bei der Simulation des mittel- und kurzfristigen Personaleinsatzes.

In: Simulationstechnik.

Hrsg.: MÖLLER, Dietmar P. F.

Delft, Erlangen, Gent u.a.: Society for Computer Simulation International, 2000, S. 305-312.

(SCS Frontiers in Simulation; asim Fortschrittsberichte Simulation)

ZÜLCH, Gert; ROTTINGER, Sven; VOLLSTEDT, Thorsten:

New Requirements for Planning and Controlling of Personnel Assignment in Manufacturing.

In: Twelfth International Working Seminar on Production Economics.

Igls/Innsbruck, February 19-22, 2002.

Pre-prints, Volume 1, S. 433-450.

ZÜLCH, Gert; VOLLSTEDT, Thorsten:

Personnel-integrated and Personnel-orientated Simulation - A New Guideline of the German Association of Engineers.

In: Information and Communication Technology (ICT) in Logistics and Production Management.

Hrsg.: STRANDHAGEN, Jan Ola; ALFNES, Erlend.

Tromsø, 2000, S. 185-192.

8.2 Eingesetzte Software

ESPE-PE:

Version 1.0 für Windows.

Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation,

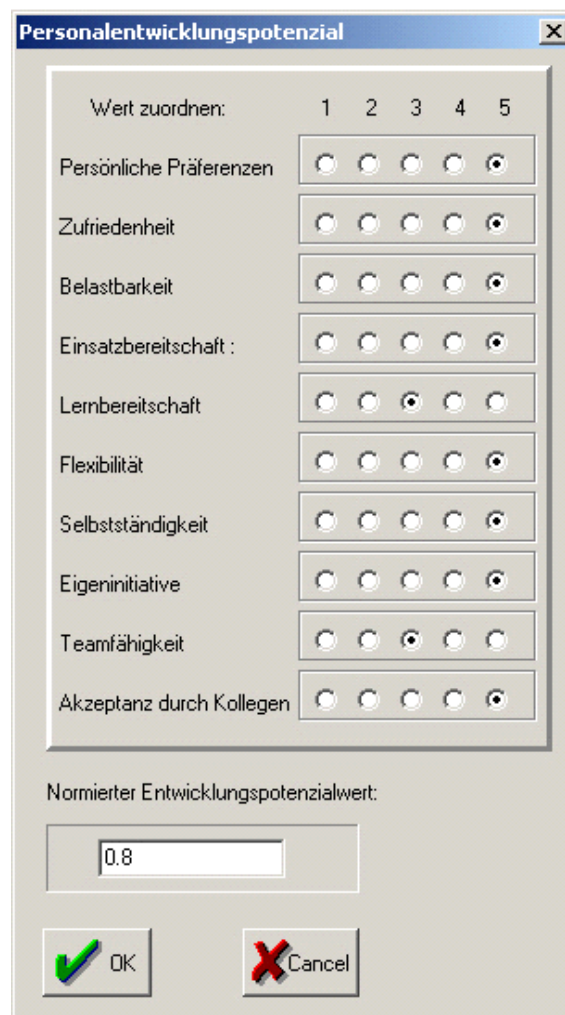
Universität Karlsruhe, 2003.

8.3 Verwendete Abkürzungen

| Abkürzung | Bezeichnung |
|----------------|---|
| ASIM | Arbeitskreis für Simulation in der Fertigungstechnik, Dortmund |
| CAD | Computer Aided Design |
| CIM | Computer Integrated Manufacturing |
| CIRP | Circumcision Reference Library |
| <i>ESPE</i> | <u>E</u> ngpassorientierte <u>S</u> imulation von <u>P</u> ersonalstrukturen |
| <i>ESPE-PE</i> | <i>ESPE</i> für die <u>P</u> ersonal <u>e</u> ntwicklung |
| <i>ESPE-UP</i> | <i>ESPE</i> zur <u>U</u> mplanung und <u>P</u> lanung des kurzfristigen Personaleinsatzes |
| GfA | Gesellschaft für Arbeitswissenschaft |
| gfmt | Gesellschaft für Management und Technologie, München, St. Gallen |
| HAB | Hochschulgruppe Arbeits- und Betriebsorganisation, Bonn |
| IAO | Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation, Stuttgart |
| IPA | Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung, Stuttgart |
| MTBF | mean time between failures |
| MTTR | mean time to repair |
| OR | Operations Research |
| PPS | Produktionsplanung und -steuerung |
| REFA | Verband für Arbeitsgestaltung, Betriebsorganisation und Unternehmensentwicklung |
| SCS | Society for Computer Simulation |
| SFB | Sonderforschungsbereich |
| TH | Technische Hochschule |
| VDI | Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf |

9. Anhang

9.1 Bewertung des Personalentwicklungspotenzials



The screenshot shows a software window titled "Personalentwicklungspotenzial" with a close button (X) in the top right corner. The window contains a rating scale for various criteria. The scale is labeled "Wert zuordnen:" and has five columns labeled 1, 2, 3, 4, and 5. Each criterion has a row of five radio buttons corresponding to these values. The criteria and their selected values are:

| Kriterium | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------------------|-----------------------|----------------------------------|
| Persönliche Präferenzen | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input checked="" type="radio"/> |
| Zufriedenheit | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input checked="" type="radio"/> |
| Belastbarkeit | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input checked="" type="radio"/> |
| Einsatzbereitschaft : | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input checked="" type="radio"/> |
| Lernbereitschaft | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Flexibilität | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input checked="" type="radio"/> |
| Selbstständigkeit | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input checked="" type="radio"/> |
| Eigeninitiative | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input checked="" type="radio"/> |
| Teamfähigkeit | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input checked="" type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| Akzeptanz durch Kollegen | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input checked="" type="radio"/> |

Below the rating scale, there is a field labeled "Normierter Entwicklungspotenzialwert:" with a text box containing the value "0.8". At the bottom of the window, there are two buttons: "OK" with a green checkmark icon and "Cancel" with a red X icon.

Abb. 9-1: Potenzialkriterien

9.2 Identifikation qualifikatorischer Engpässe für Funktionselemente

9.2.1 Identifikation personalbedingter Engpässe

Im Simulationsprotokoll lassen sich personalbedingte Engpässe als vergebliche Anforderungen nach Funktionselementen identifizieren. Ein Funktionselement wird vergeblich angefordert, wenn mindestens eine Person zwar verfügbar ist, diese aber das angeforderte Funktionselement aufgrund einer fehlenden Qualifikation nicht ausführen kann.

| Funktions- element $l=rng(f,b)$ | ANA_{sl} | ANR_{sl} (%) | ZUW_{slp} | | | |
|---------------------------------------|------------|-------------------|-------------|-----|------------|-----|
| | | | Person | | | |
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| R2 | 30 | 55 | 0,7 | 0,4 | - | 0,6 |
| D4 | 26 | 22 | 0,4 | - | 0,9 | 0,3 |
| D3 | 12 | 40 | - | 0,2 | 0,8 | - |
| B3 | 5 | 10 | 0,6 | - | - | 0,4 |
| R1 | 4 | 18 | - | - | 0,4 | - |

| | | | |
|----------|-----------------|-------------|---|
| Legende: | | | |
| b | Betriebsmittel | ANA_{sl} | absolute Anzahl vergeblicher Anforderungen nach Funktionselement l in der Planungsphase $[s;s+1]$ |
| f | Funktion | | |
| rng | Rang | ANR_{sl} | relative Häufigkeit vergeblicher Anforderungen nach Funktionselement l in der Planungsphase $[s;s+1]$ |
| B3 | Bohren an $b=3$ | | |
| D4 | Drehen an $b=4$ | ZUW_{slp} | Neuzuordnungswert der Person p für das Funktionselement l in der Planungsphase $[s;s+1]$ |
| R1 | Rüsten an $b=1$ | | |

Tab. 9-1: Beispiel für eine Qualifikationserweiterung aufgrund der absoluten Anzahl bzw. relativen Häufigkeit vergeblicher Anforderungen (in Anlehnung an HEITZ 1994, S. 153)

Vergeblich angeforderte Qualifikationselemente lassen sich nach deren absoluter Anzahl, aber auch nach deren relativer Häufigkeit in eine Rangfolge bringen (HEITZ 1994, S. 152 ff.). Die absolute Anzahl vergeblicher Anforderungen sieht diejenigen Funktionselemente als

Qualifikationsengpässe an, die während eines Simulationslaufes, absolut betrachtet, am häufigsten vergeblich angefordert wurden. Die relative Häufigkeit berücksichtigt die Anzahl vergeblicher Anforderungen nach einem bestimmten Funktionselement, gemessen an der Gesamtzahl der Anforderungen nach diesem Funktionselement.

In Tabelle 9-1 sind beispielhaft die Funktionselemente l nach der absoluten Anzahl vergeblicher Anforderungen ANA_{sl} absteigend sortiert. Im Zuge der Qualifikationserweiterung nach der absoluten Anzahl vergeblicher Anforderungen wird zuerst das Funktionselement R2 (Rüsten am Betriebsmittel $b=2$) derjenigen Person p mit dem höchsten Neuordnungswert ZUW_{slp} zugeordnet (im Beispiel aus Tab. 9-1 Person 1). Personen, für die in Tabelle 9-1 keine Neuordnungswerte angegeben werden, sind bereits für dieses Funktionselement qualifiziert (zur Berechnung des Neuordnungswertes vgl. Kap. 4.2.2.2).

9.2.2 Identifikation von Funktionselementen für eine Qualifikationsvereinfachung

In Tabelle 9-2 werden die Funktionselemente in aufsteigender Reihenfolge anhand der absoluten Anzahl vergeblich angeforderter Funktionselemente sortiert, wobei die Funktionselemente grundsätzlich auch nach der relativen Häufigkeit vergeblicher Anforderungen sortiert werden können. Funktionselemente, die während eines Simulationslaufes sehr selten oder überhaupt nicht vergeblich angefordert wurden, können denjenigen Personen, für die der höchste Vereinfachungswert ermittelt wurde (z.B. Person 4 für das Funktionselement D2), zuerst entzogen werden. Personen, für die in Tabelle 9-2 keine Vereinfachungswerte angegeben sind, haben für das entsprechende Funktionselement keine Qualifikation.

Für die in Kapitel 6 vorliegenden Anwendungsbeispiele erfolgte die Identifikation der Funktionselemente auf der Basis der absoluten Anzahl vergeblicher Anforderungen ANA_{sl} . Die Vorteilhaftigkeit der Verwendung der absoluten Anzahl vergeblicher Anforderungen gegenüber der relativen Häufigkeit bei der Verbesserung von

Zielerreichungsgraden wurde bereits von HEITZ (1994, S. 193 ff.) mittels Regressionsanalyse nachgewiesen.

| Funktions- element $l=rng(f,b)$ | ANA_{sl} | ANR_{sl} (%) | VEW_{slp} | | | |
|---------------------------------------|------------|-------------------|-------------|------------|------------|------------|
| | | | Person | | | |
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| D2 | 0 | 0 | 0,3 | - | 0,6 | 0,7 |
| F7 | 0 | 0 | 0,8 | 0,2 | - | 0,3 |
| F6 | 2 | 5,3 | - | 0,2 | 0,8 | - |
| B2 | 5 | 15,3 | - | 0,5 | - | 0,4 |
| R1 | 10 | 10,2 | 0,5 | - | - | - |

| | | | |
|--------------------|-------------|---|--|
| Legende: | | | |
| b Betriebsmittel | ANA_{sl} | absolute Anzahl vergeblicher Anforderungen nach Funktionselement l in der Planungsphase $[s;s+1]$ | |
| f Funktion | | | |
| rng Rang | ANR_{sl} | relative Häufigkeit vergeblicher Anforderungen nach Funktionselement l in der Planungsphase $[s;s+1]$ | |
| B2 Bohren an $b=2$ | | | |
| D2 Drehen an $b=2$ | VEW_{slp} | Vereinfachungswert der Person p für das Funktionselement l in der Planungsphase $[s;s+1]$ | |
| F7 Fräsen an $b=7$ | | | |
| R1 Rüsten an $b=1$ | | | |

Tab. 9-2: Beispiel für eine Qualifikationsvereinfachung aufgrund der absoluten bzw. relativen Häufigkeit vergeblicher Anforderungen (in Anlehnung an HEITZ 1994, S. 160)

9.3 Modifikationsgrad und Suchrichtung

Um eine zielgerichtete Suche im Lösungsraum vornehmen zu können, muss für jeden Iterationsschritt festgelegt werden, wie groß der Anteil der Funktionselemente sein soll, die in diesem Iterationsschritt entzogen bzw. neu zugeordnet werden sollen und welcher Anteil der Personalstruktur davon betroffen sein soll (HEITZ 1994, S. 206). Hierfür gibt beispielsweise der Modifikationsgrad (20 % / 40 %) für die Strategie der Qualifikationserweiterung an, dass 20 % der am häufigsten vergeblich angeforderten Funktionselemente 40 % der Personen, für die der höchste Zuordnungswert berechnet wurde, neu

zugeordnet werden sollen. Im Gegenzug bedeutet der Modifikationsgrad (20 % / 40 %) für die Strategie der Qualifikationsvereinfachung, dass 20 % der nicht engpassrelevanten Funktionselemente 40 % der Personen mit dem höchsten Vereinfachungswert entzogen werden.

Grundsätzlich können bei der Modifikation von Personalstrukturen die Strategien bevorzugte Tiefen- oder bevorzugte Breitensuche verfolgt werden (HEITZ 1994, S. 206). Bei der bevorzugten Tiefensuche werden die Personalstrukturen in jedem Iterationsschritt durch einen konstanten Modifikationsgrad über mehrere Iterationsschritte hinweg durch die zuvor festzulegende Strategie der Qualifikationserweiterung bzw. -vereinfachung verändert. Dies entspricht der Vorstellung, bei der Suche nach der besten Lösung in einem Suchbaum vom Stamm beginnend zuerst in die Tiefe zu gehen (vgl. z.B. BUNDY 1990, S. 17 ff.; NEUMANN, MORLOCK 1993, S. 218). Die Erzeugung einer neuen Personalstruktur erfolgt dabei jedoch immer auf der Grundlage der jeweils aktuellen Lösung. Bei der bevorzugten Breitensuche werden neue Lösungen zuerst in der unmittelbaren Umgebung der jeweils aktuellen Lösung gesucht, d.h. auf derselben Ebene des Suchbaumes. Dies erfolgt durch eine Veränderung des Modifikationsgrades in einer bestimmten Reihenfolge (zum Modifikationsprinzip für Personalstrukturen bei bevorzugter Breitensuche vgl. HEITZ 1994, S. 211 f.). Tiefer liegende Ebenen im Suchbaum werden erst in weiteren Iterationsschritten betrachtet. Unterschreitet der Gesamtzielerreichungsgrad der Personalstruktur den aktuellen Wasserstand, so wird bei der bevorzugten Breitensuche der Wechsel zur Tiefensuche erforderlich (zur Entscheidung für die Tiefen- und Breitensuche vgl. Abb. 9-2b im Anhang).

9.4 Ablauf des angepassten Sintflut-Algorithmus

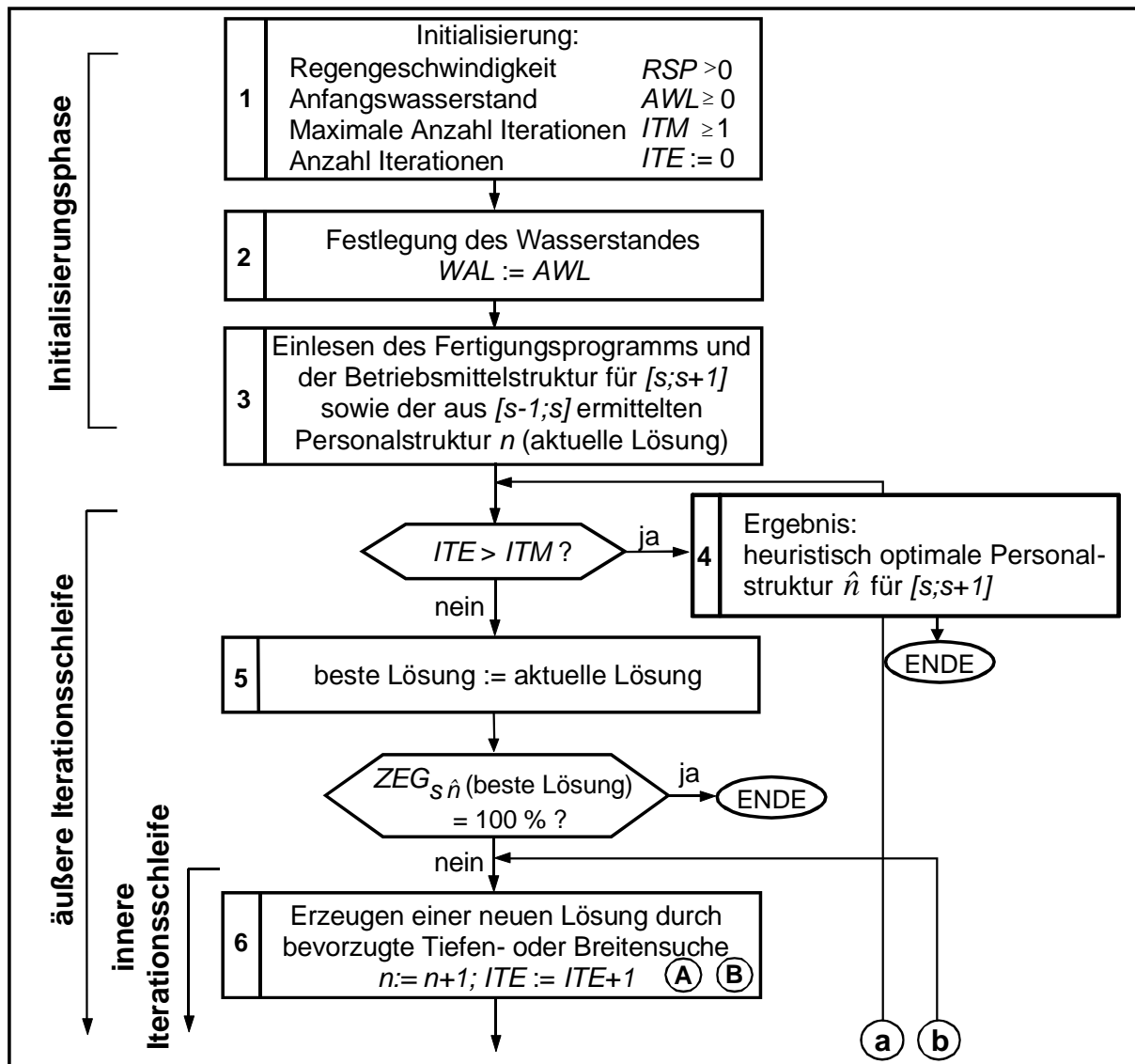


Abb. 9-2a: Ablauf des angepassten Sintflut-Algorithmus (Teil 1)
(Quelle: HEITZ 1994, S. 218; modifiziert)

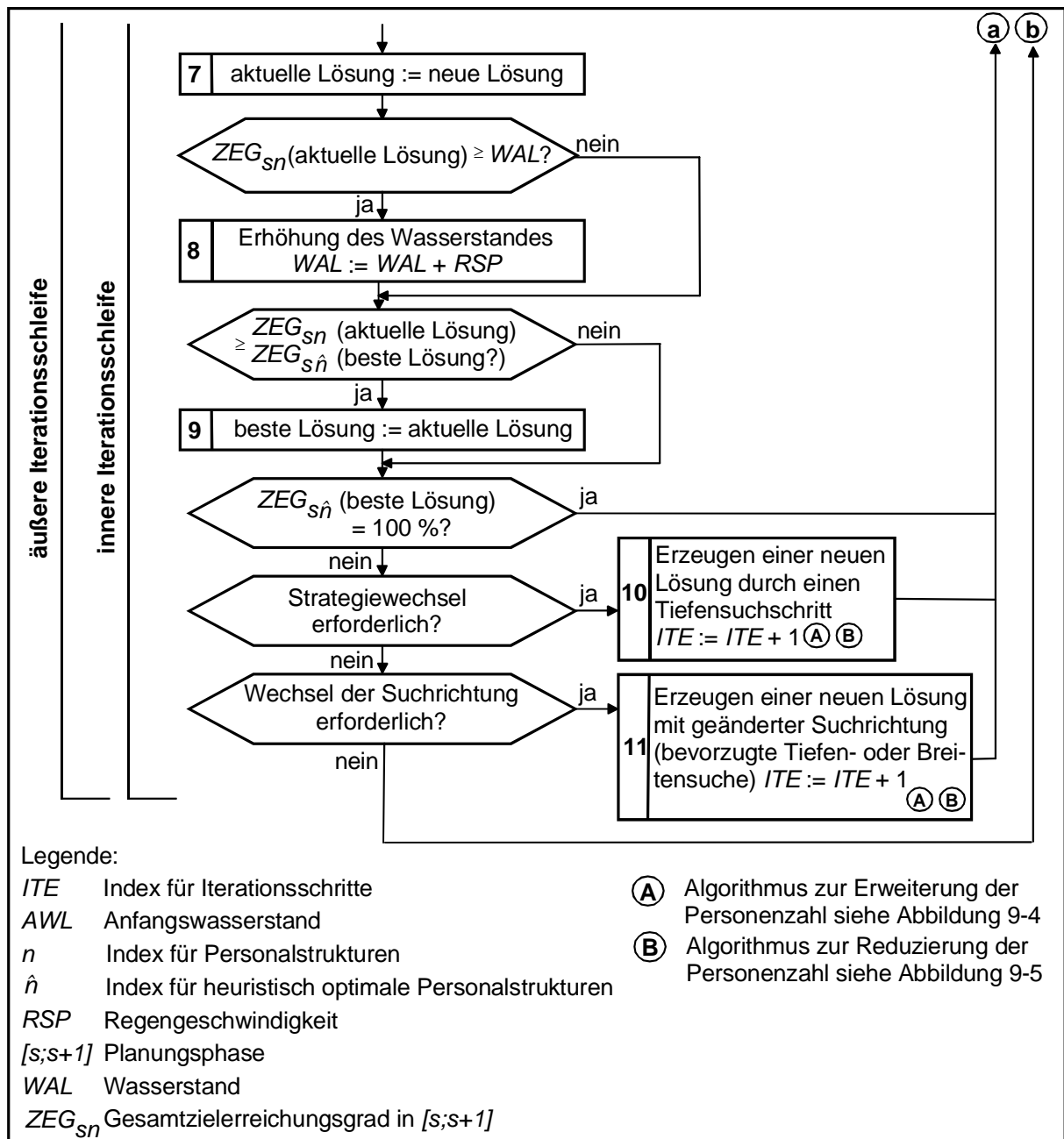


Abb. 9-2b: Ablauf des angepassten Sintflut-Algorithmus (Teil 2)
(Quelle: HEITZ 1994, S. 218; modifiziert)

9.5 Algorithmen zur zielgerichteten Anpassung der Anzahl Personen einer Personalstruktur

9.5.1 Erweiterung der Personenzahl

Eine Erweiterung der Personalstruktur wird dann erforderlich, wenn die für die Planungsphase $[s;s+1]$ ermittelte mittlere Personalauslastung PAU_s eine obere Interventionsgrenze OIG übersteigt. Für die in Kapitel 6 beschriebenen Simulationsuntersuchungen wurde die obere Interventionsgrenze auf 80 % festgesetzt.

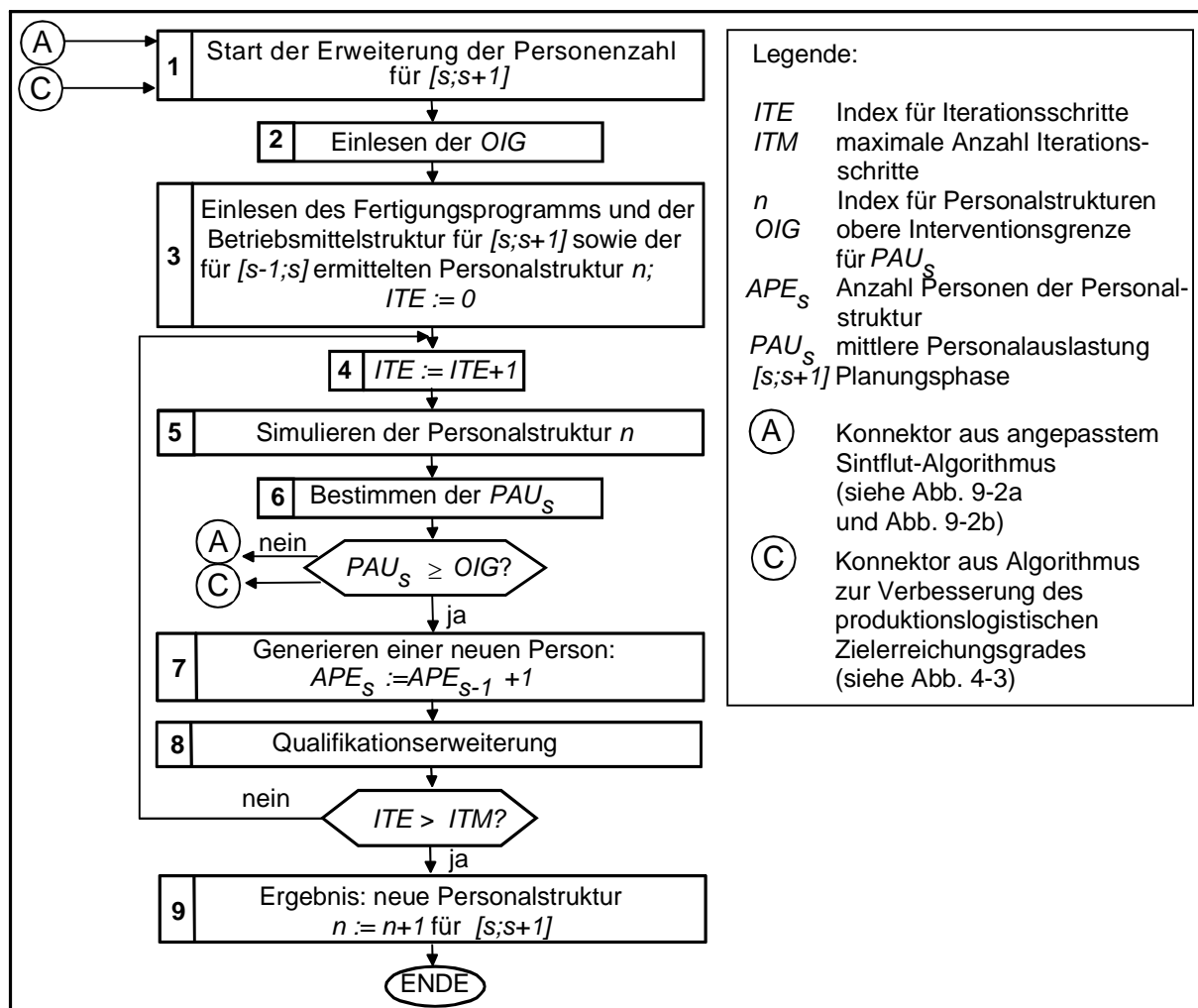


Abb. 9-3: Algorithmus zur Erweiterung der Personenzahl

Die Personalstruktur wird solange um Personen erweitert, bis die mittlere Personalauslastung unter diesen Wert sinkt.

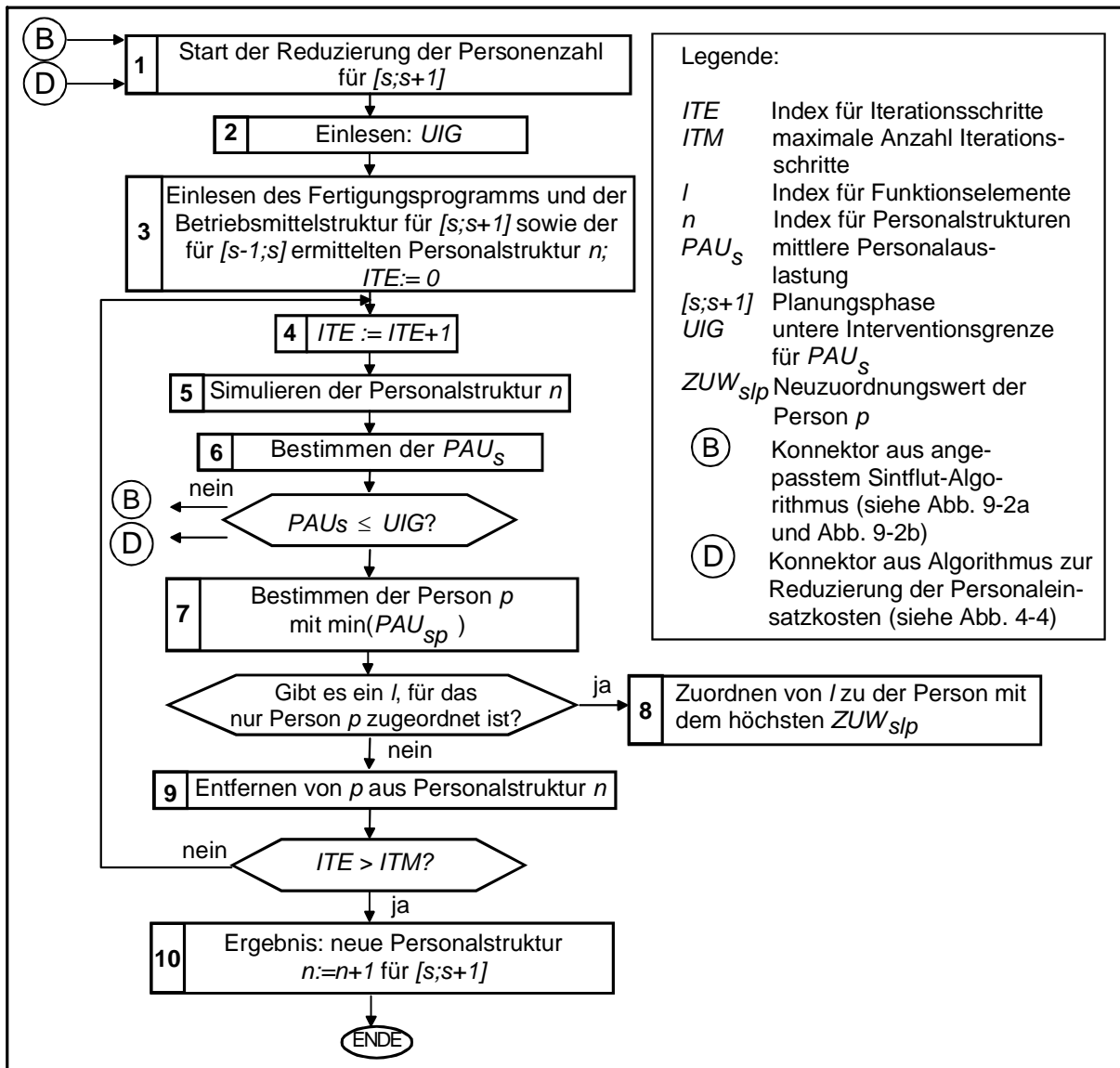


Abb. 9-4: Algorithmus zur Reduzierung der Personenzahl

9.5.2 Reduzierung der Personenzahl

Die Vorgehensweise zur Reduzierung von Personal ist analog zu deren Erweiterung. Personal wird reduziert, wenn die mittlere Personalauslastung PAU_s , die für die Planungsphase $[s;s+1]$ ermittelt wird, eine untere Interventionsgrenze UIG unterschreitet. Im Rahmen

der Simulationsuntersuchungen wurde die untere Interventionsgrenze auf 40 % festgesetzt. Die Personalstruktur wird um diejenigen Personen reduziert, die die geringsten Personalauslastungen PAU_{sp} aufweisen. Dieser Vorgehensweise liegt die Annahme zugrunde, dass Personen mit einer geringen Personalauslastung auch nur einen geringfügigen Beitrag für die produktionslogistische Zielerreichung leisten.

Generell muss bei einer Reduzierung von Personal überprüft werden, ob die zu reduzierenden Personen über Funktionselemente verfügen, für die keine anderen Personen qualifiziert sind. In diesem Fall sind neben der Freistellung von Personal auch Qualifizierungsmaßnahmen für die verbleibenden Personen notwendig.

9.6 Daten zur Simulation des metallverarbeitenden Unternehmens

9.6.1 Auftragsprogramm in Abhängigkeit von der Erzeugnisklasse

| Durchlaufplantypen für $e=1$ | Daten | Durchlaufplantypen für $e=2$ | Daten |
|--|---|------------------------------|--|
| | $t_{rt,v}$ [5;60] $t_{t,v}$ [1;95] $t_{h,v} + t_{n,v}$ [1,5;145] m_j [1;110] AAE_{se} : 38 | | $t_{rt,v}$ [5;120] $t_{t,v}$ [0,5;100] $t_{h,v} + t_{n,v}$ [0,8;125] m_j [1;1.000] AAE_{se} : 72 |
| für $e=3$ | $t_{rt,v}$ [1;150] $t_{t,v}$ [0,2;120] $t_{h,v} + t_{n,v}$ [0,3;150] m_j [1;1.000] AAE_{se} : 581 | für $e=4$ | $t_{rt,v}$ [5;60] $t_{t,v}$ [0,2;15] $t_{h,v} + t_{n,v}$ [0,3;19] m_j [2;600] AAE_{se} : 110 |
| Legende: AAE_{se} Anzahl für e in der Planungsphase $[s;s+1]$ eingesteuerte Fertigungsaufträge e Erzeugnisklasse $t_{rt,v}$ Tätigkeitszeit für Rüsten bei Arbeitsvorgang v (in min) $t_{t,v}$ Tätigkeitszeit für Arbeitsvorgang v (in min) $t_{h,v}$ Hauptnutzungszeit für Arbeitsvorgang v (in min) $t_{n,v}$ Nebennutzungszeit für Arbeitsvorgang v (in min) m_j Fertigungsmenge des Fertigungsauftrages j Start- bzw. Endknoten | | | |

Abb. 9-5: Modelliertes Auftragsprogramm

Die für jede Erzeugnisklasse e variierenden Lagen von Durchlaufplantypen deuten an, dass je nach Erzeugnisklasse komplexere Arbeitsvorgänge notwendig sind. Beispielsweise ist der Anteil von Durchlaufplänen mit vier Arbeitsvorgängen für die Erzeugnisklasse $e=1$ am höchsten. Hingegen dominieren für die Erzeugnisklasse $e=4$ Durchlaufpläne mit nur einem Arbeitsvorgang. Für eine übersichtliche Darstellung des modellierten Auftragsprogramms wurde auf die exakten Angaben der pro Erzeugnisklasse variierenden Anzahl Durchlaufplantypen verzichtet.

9.6.2 Veränderung der Zeitanteile der Erzeugnisklassen

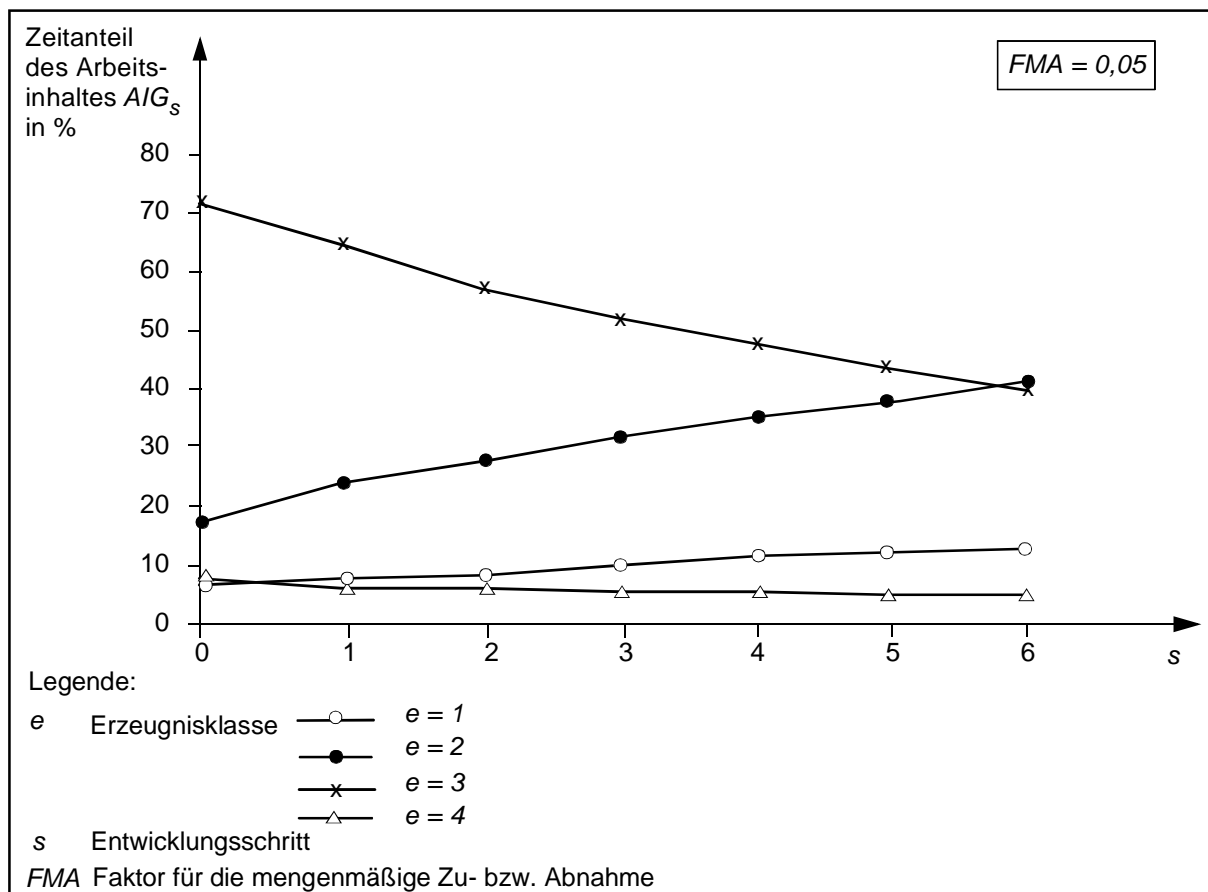


Abb. 9-6: Veränderung der Zeitanteile pro Erzeugnisklasse

9.6.3 Simulationsergebnisse

| <i>[0;1]</i> | Bezugswerte | | | |
|------------------|-------------|--------|------------------------|-----------|
| | n^* | n^0 | | |
| <i>DZG</i> in % | 64 | 47 | 65 | |
| <i>AAG</i> in % | 91 | 40 | 76 | |
| <i>PAU</i> in % | 88 | 35 | 74 | |
| <i>PKO</i> in GE | 660 | 504 | 529 | |
| <i>PKE</i> in GE | 108.900 | 83.160 | 87.285 | |
| <i>PEK</i> in GE | 200.000 | - | 0 | |
| <i>ZDG</i> in % | 100 | 0 | 100 | |
| <i>ZAG</i> in % | 100 | 0 | 71 | |
| <i>ZPA</i> in % | 100 | 0 | 74 | |
| <i>ZPL</i> in % | 100 | 0 | 82 | |
| <i>ZKE</i> in % | 0 | 100 | 84 | |
| <i>ZEK</i> in % | 0 | - | 100 | |
| <i>ZEG</i> in % | 50 | 50 | 87 | |
| <i>[1;2]</i> | | | Vorgänger: $\bar{n}=0$ | |
| | n^* | n^0 | \hat{n} | \bar{n} |
| <i>DZG</i> in % | 62 | 47 | 67 | 66 |
| <i>AAG</i> in % | 91 | 40 | 77 | 76 |
| <i>PAU</i> in % | 90 | 35 | 76 | 75 |
| <i>PKO</i> in GE | 660 | 504 | 545 | 529 |
| <i>PKE</i> in GE | 108.900 | 83.160 | 87.120 | 87.285 |
| <i>PEK</i> in GE | 200.000 | - | 29.400 | 0 |
| <i>ZDG</i> in % | 100 | 0 | 100 | 100 |
| <i>ZAG</i> in % | 100 | 0 | 72 | 71 |
| <i>ZPA</i> in % | 100 | 0 | 75 | 73 |
| <i>ZPL</i> in % | 100 | 0 | 82 | 81 |
| <i>ZKE</i> in % | 0 | 100 | 73 | 84 |
| <i>ZEK</i> in % | 0 | - | 85 | 100 |
| <i>ZEG</i> in % | 50 | 50 | 81 | 87 |

Abb. 9-7a: Bezugswerte und Zielerreichungsgrade für Personalentwicklungspfade (Teil 1)




| [2;3] | Bezugswerte | | Vorgänger: \bar{n} | | | |
|-----------|-------------|--------|----------------------|-----------|----------------------|-----------|
| | n^* | n^o | \hat{n} | \bar{n} | | |
| DZG in % | 62 | 47 | 63 | 71 | | |
| AAG in % | 92 | 40 | 79 | 77 | | |
| PAU in % | 96 | 35 | 82 | 78 | | |
| PKO in GE | 660 | 504 | 546 | 529 | | |
| PKE in GE | 108.900 | 83.160 | 90.090 | 87.285 | | |
| PEK in GE | 200.000 | - | 18.300 | 0 | | |
| ZDG in % | 100 | 0 | 100 | 100 | | |
| ZAG in % | 100 | 0 | 75 | 71 | | |
| ZPA in % | 100 | 0 | 77 | 70 | | |
| ZPL in % | 100 | 0 | 85 | 81 | | |
| ZKE in % | 0 | 100 | 73 | 84 | | |
| ZEK in % | 0 | - | 91 | 100 | | |
| ZEG in % | 50 | 50 | 83 | 86 | | |
| [3;4] | | | Vorgänger: \hat{n} | | Vorgänger: \bar{n} | |
| | n^* | n^o | \hat{n} | \bar{n} | \hat{n} | \bar{n} |
| DZG in % | 60 | 47 | 67 | 63 | 64 | 63 |
| AAG in % | 88 | 40 | 76 | 75 | 75 | 70 |
| PAU in % | 96 | 35 | 83 | 82 | 81 | 76 |
| PKO in GE | 660 | 504 | 563 | 546 | 565 | 529 |
| PKE in GE | 108.900 | 83.160 | 92.895 | 90.090 | 93.225 | 87.285 |
| PEK in GE | 200.000 | - | 15.600 | 0 | 19.200 | 0 |
| ZDG in % | 100 | 0 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| ZAG in % | 100 | 0 | 76 | 74 | 73 | 62 |
| ZPA in % | 100 | 0 | 79 | 77 | 76 | 67 |
| ZPL in % | 100 | 0 | 85 | 84 | 83 | 77 |
| ZKE in % | 0 | 100 | 62 | 73 | 61 | 84 |
| ZEK in % | 0 | - | 92 | 100 | 90 | 100 |
| ZEG in % | 50 | 50 | 81 | 85 | 79 | 84 |
| [4;5] | | | Vorgänger: \hat{n} | | Vorgänger: \bar{n} | |
| | n^* | n^o | \hat{n} | \bar{n} | \hat{n} | \bar{n} |
| DZG in % | 62 | 47 | 68 | 66 | 63 | 61 |
| AAG in % | 92 | 40 | 76 | 66 | 76 | 72 |
| PAU in % | 96 | 35 | 86 | 83 | 86 | 75 |
| PKO in GE | 660 | 504 | 581 | 565 | 574 | 546 |
| PKE in GE | 108.900 | 83.160 | 95.865 | 93.225 | 94.710 | 90.090 |
| PEK in GE | 200.000 | - | 24.900 | 0 | 12.300 | 0 |
| ZDG in % | 100 | 0 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| ZAG in % | 100 | 0 | 79 | 57 | 80 | 71 |
| ZPA in % | 100 | 0 | 81 | 77 | 82 | 64 |
| ZPL in % | 100 | 0 | 87 | 78 | 87 | 78 |
| ZKE in % | 0 | 100 | 51 | 61 | 55 | 73 |
| ZEK in % | 0 | - | 88 | 100 | 94 | 100 |
| ZEG in % | 50 | 50 | 78 | 79 | 81 | 83 |

Abb. 9-7b: Bezugswerte und Zielerreichungsgrade für Personalentwicklungspfade (Teil 2)

| [5;6] | Bezugswerte | | Vorgänger: \hat{n} | | Vorgänger: \hat{n} | |
|-----------|-------------|--------|----------------------|-----------|----------------------|-----------|
| | n^* | n^0 | \hat{n} | \bar{n} | \hat{n} | \bar{n} |
| DZG in % | 60 | 47 | 67 | 69 | 64 | 68 |
| AAG in % | 88 | 40 | 75 | 70 | 76 | 69 |
| PAU in % | 96 | 35 | 89 | 80 | 90 | 81 |
| PKO in GE | 660 | 504 | 582 | 581 | 587 | 574 |
| PKE in GE | 108.900 | 83.160 | 96.030 | 95.865 | 96.855 | 94.710 |
| PEK in GE | 200.000 | - | 29.100 | 0 | 27.600 | 0 |
| ZDG in % | 100 | 0 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| ZAG in % | 100 | 0 | 82 | 70 | 83 | 67 |
| ZPA in % | 100 | 0 | 85 | 70 | 87 | 72 |
| ZPL in % | 100 | 0 | 89 | 80 | 90 | 79 |
| ZKE in % | 0 | 100 | 50 | 51 | 47 | 55 |
| ZEK in % | 0 | - | 85 | 100 | 86 | 100 |
| ZEG in % | 50 | 50 | 78 | 79 | 78 | 79 |
| [6;7] | Bezugswerte | | Vorgänger: \hat{n} | | Vorgänger: \hat{n} | |
| | n^* | n^0 | \hat{n} | \bar{n} | \hat{n} | \bar{n} |
| DZG in % | 60 | 47 | 65 | 65 | 67 | 67 |
| AAG in % | 88 | 40 | 73 | 72 | 74 | 73 |
| PAU in % | 96 | 35 | 90 | 87 | 91 | 90 |
| PKO in GE | 660 | 504 | 590 | 582 | 588 | 587 |
| PKE in GE | 108.900 | 83.160 | 97.350 | 96.030 | 97.020 | 96.855 |
| PEK in GE | 200.000 | - | 13.200 | 0 | 4.800 | 0 |
| ZDG in % | 100 | 0 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| ZAG in % | 100 | 0 | 82 | 81 | 86 | 83 |
| ZPA in % | 100 | 0 | 86 | 84 | 88 | 86 |
| ZPL in % | 100 | 0 | 90 | 88 | 91 | 90 |
| ZKE in % | 0 | 100 | 45 | 50 | 46 | 47 |
| ZEK in % | 0 | - | 93 | 100 | 98 | 100 |
| ZEG in % | 50 | 50 | 79 | 81 | 82 | 82 |

Abb. 9-7c: Bezugswerte und Zielerreichungsgrade für Personalentwicklungspfade (Teil 3)

Legende:

- n^* Universalistenlösung
- n^0 kostenorientierte Personalstruktur
- \hat{n} heuristisch optimale Personalstruktur
- \bar{n} Personalstruktur mit minimalen Personalentwicklungskosten
-  Personalentwicklungspfad $q=1$
-  Personalentwicklungspfad $q=2$
-  abgebrochener Personalentwicklungspfad

9.7 Daten zur Simulation des Automobilzulieferers

9.7.1 Durchlaufpläne der Varianten in Abhängigkeit von der Fertigungstechnologie

| Durchlaufplan | Angaben |
|--|---|
| <p>Vorserienfertigung:</p> | $t_{rt,v}$ 30 $t_{t,v}$ [5;10] $t_{h,v} + t_{n,v}$ [5; 10] m_j [2; 200] |
| <p>Automatenfertigung 1. Ausbaustufe:</p> | $t_{rt,v}$ 90 $t_{t,v}$ 0,3 $t_{h,v} + t_{n,v}$ 0,75 m_j [2.800; 23.850] |
| <p>Automatenfertigung 2. Ausbaustufe:</p> | $t_{rt,v}$ 90 $t_{t,v}$ 0,4 $t_{h,v} + t_{n,v}$ 0,6 m_j [24.050; 37.000] |
| <p>Legende:</p> <p>$t_{rt,v}$ Tätigkeitszeit für Rüsten bei Arbeitsvorgang v (in min) $t_{t,v}$ Tätigkeitszeit für Arbeitsvorgang v (in min) $t_{h,v}$ Hauptnutzungszeit für Arbeitsvorgang v (in min) $t_{n,v}$ Nebennutzungszeit für Arbeitsvorgang v (in min) m_j Fertigungsmenge des Fertigungsauftrages j Start- bzw. Endknoten</p> | |

Abb. 9-8: Durchlaufpläne in Abhängigkeit von der Fertigungstechnologie

9.7.2 Quantitative Erzeugniserzeugung

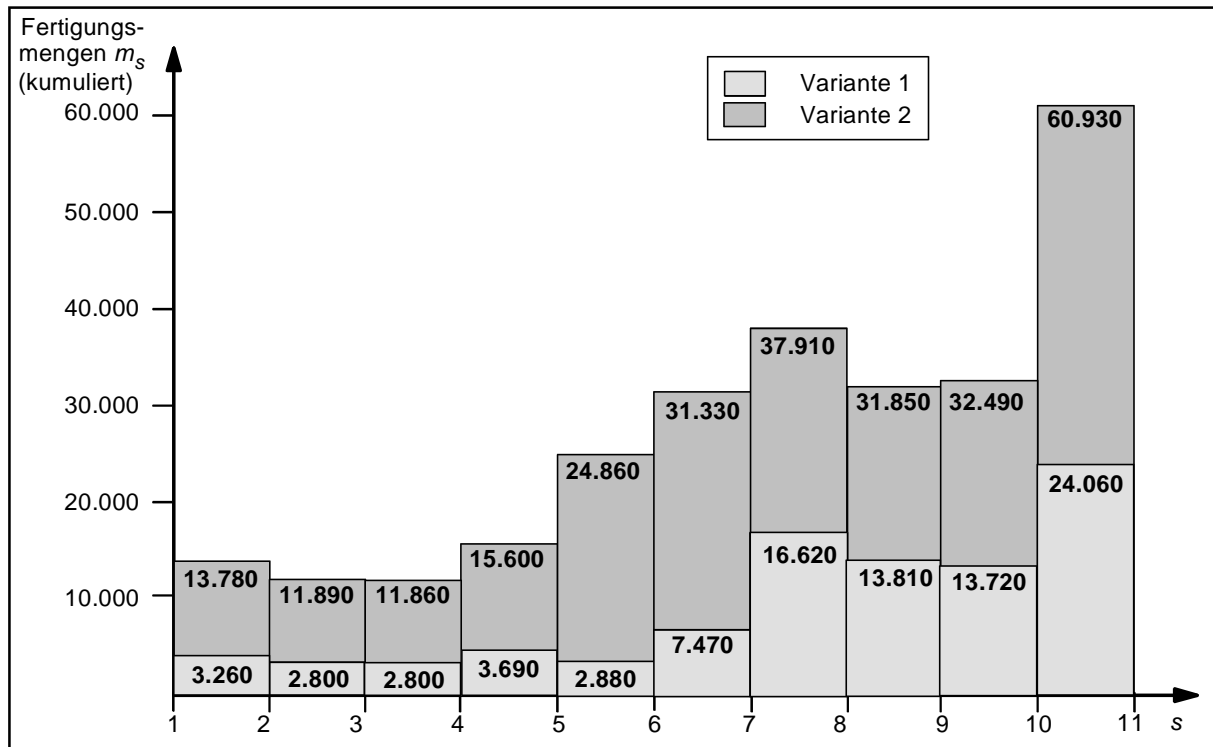


Abb. 9-9: Entwicklung der Fertigungsmengen beider Varianten der Baugruppe

9.7.3 Prognostizierte Entwicklung des Instandhaltungs- und Rüstaufwands

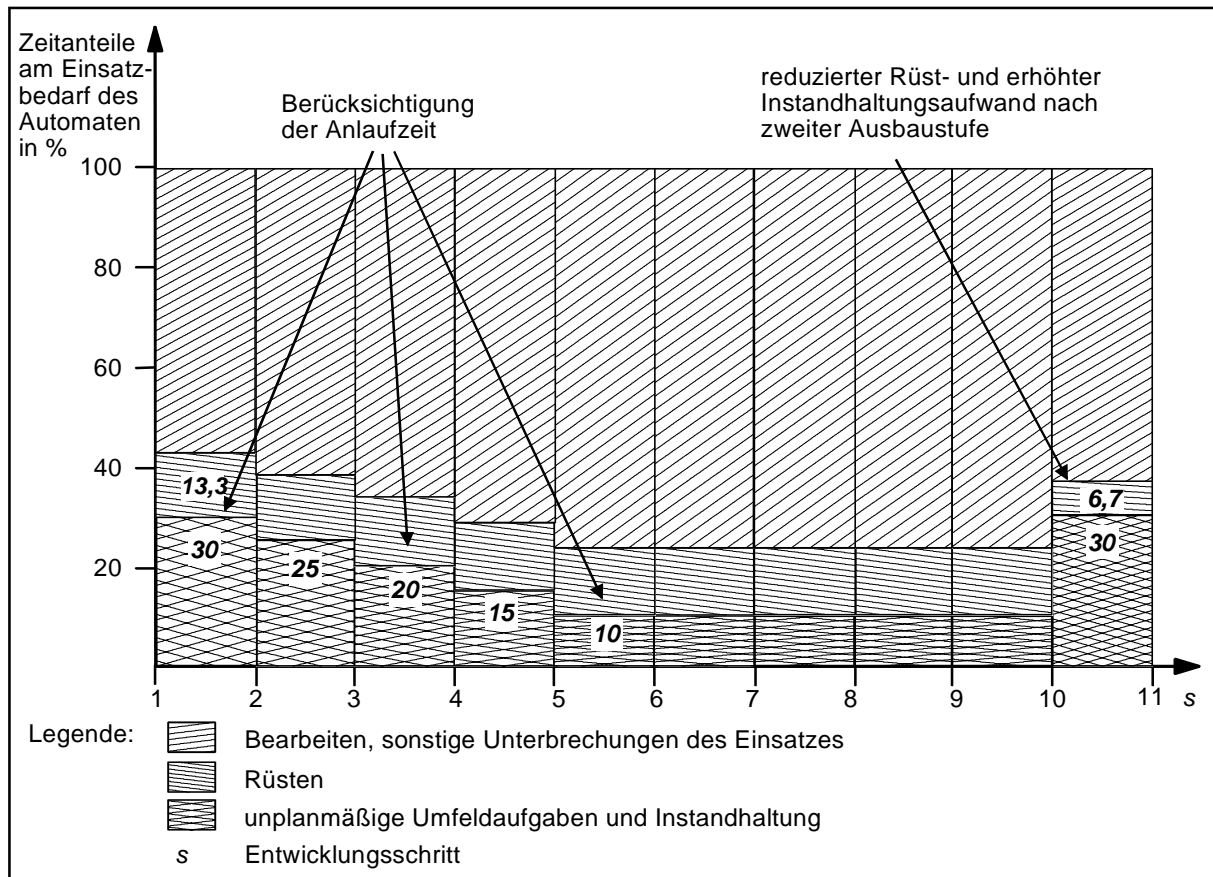


Abb. 9-10: Entwicklung des Instandhaltungs- und Rüstaufwandes bei automatisierter Fertigung

9.7.4 Erzeugung einer Personalstruktur mit hohem Zielerreichungsgrad Abarbeitungsgrad

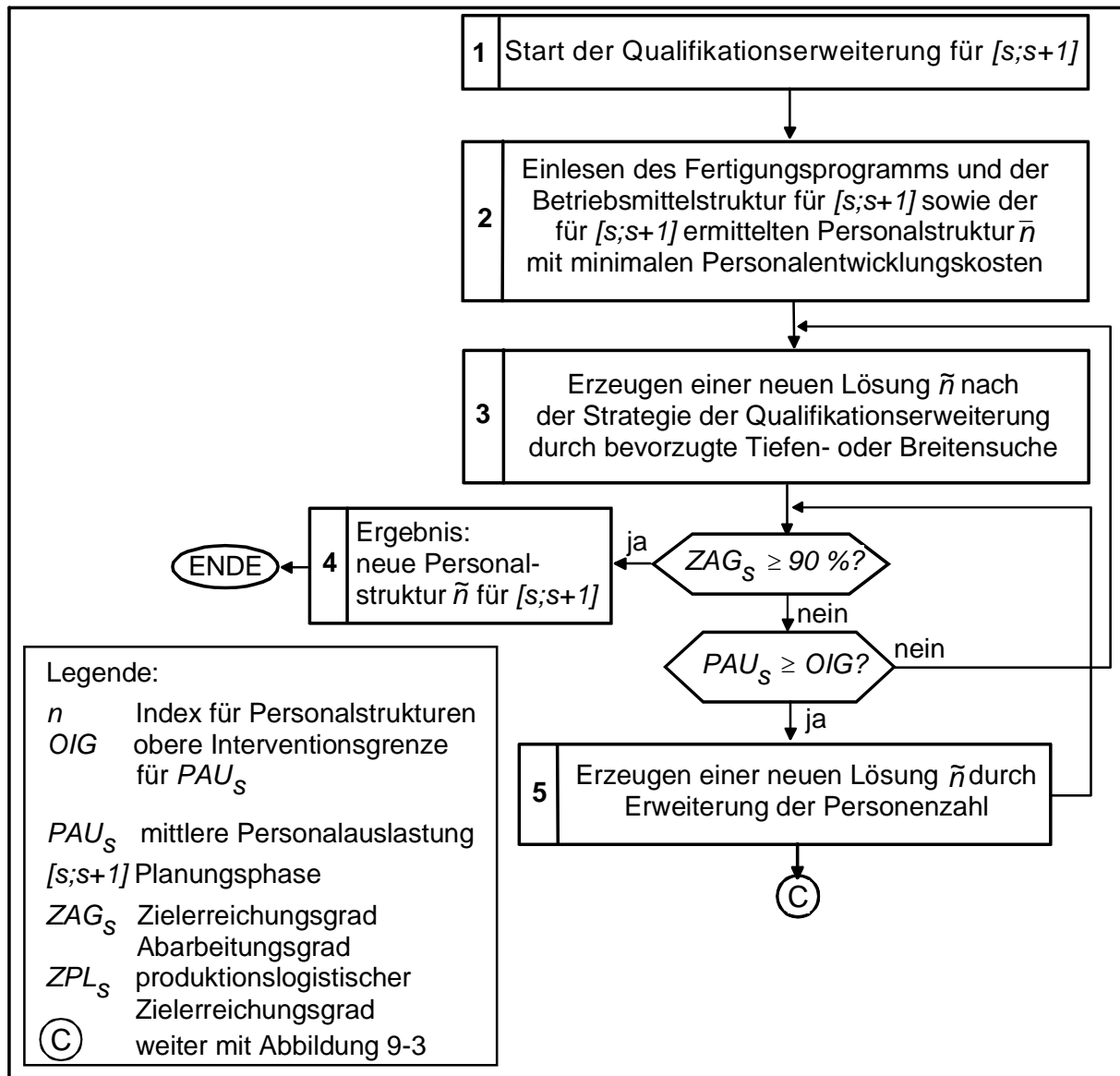


Abb. 9-11: Algorithmus zur Erzeugung einer Personalstruktur mit $ZAG_{sn} \geq 90\%$

9.7.4 Simulationsergebnisse

| | Bezugswerte | | | | | |
|------------------------|-------------|--------|-------------|-----------|-------------|--|
| <i>[0;1]</i> | n^* | n^0 | $\bar{n}=0$ | | | |
| <i>DZG</i> in % | 78 | 17 | 39 | | | |
| <i>AAG</i> in % | 77 | 29 | 88 | | | |
| <i>PAU</i> in % | 100 | 30 | 77 | | | |
| <i>PKO</i> in GE | 180 | 136 | 141 | | | |
| <i>PKE</i> in GE | 81.000 | 61.241 | 63.459 | | | |
| <i>PEK</i> in GE | 275.000 | - | 0 | | | |
| <i>ZDG</i> in % | 100 | 0 | 36 | | | |
| <i>ZAG</i> in % | 100 | 0 | 84 | | | |
| <i>ZPA</i> in % | 100 | 0 | 84 | | | |
| <i>ZPL</i> in % | 100 | 0 | 68 | | | |
| <i>ZKE</i> in % | 0 | 100 | 89 | | | |
| <i>ZEK</i> in % | 0 | - | 100 | | | |
| <i>ZEG</i> in % | 50 | 50 | 81 | | | |
| Vorgänger: $\bar{n}=0$ | | | | | | |
| <i>[1;2]</i> | n^* | n^0 | \hat{n} | \bar{n} | \tilde{n} | |
| <i>DZG</i> in % | 79 | 25 | 51 | 17 | 44 | |
| <i>AAG</i> in % | 100 | 37 | 90 | 57 | 97 | |
| <i>PAU</i> in % | 78 | 39 | 71 | 47 | 76 | |
| <i>PKO</i> in GE | 240 | 158 | 201 | 193 | 204 | |
| <i>PKE</i> in GE | 99.000 | 65.175 | 60.207 | 57.909 | 61.269 | |
| <i>PEK</i> in GE | 275.000 | - | 10.000 | 0 | 20.100 | |
| <i>ZDG</i> in % | 100 | 0 | 48 | 0 | 34 | |
| <i>ZAG</i> in % | 100 | 0 | 85 | 32 | 96 | |
| <i>ZPA</i> in % | 100 | 0 | 83 | 21 | 95 | |
| <i>ZPL</i> in % | 100 | 0 | 72 | 18 | 75 | |
| <i>ZKE</i> in % | 0 | 100 | 48 | 58 | 44 | |
| <i>ZEK</i> in % | 0 | - | 95 | 100 | 90 | |
| <i>ZEG</i> in % | 50 | 50 | 72 | 48 | 71 | |

Abb. 9-12a: Bezugswerte und Zielerreichungsgrade für Personalentwicklungspfade (Teil 1)

| [2;3] | Bezugswerte | | Vorgänger: \tilde{n} | |
|-----------|-------------|--------|------------------------|-----------|
| | n^* | n^0 | \hat{n} | \bar{n} |
| DZG in % | 83 | 41 | 66 | 51 |
| AAG in % | 100 | 38 | 93 | 97 |
| PAU in % | 73 | 37 | 71 | 71 |
| PKO in GE | 240 | 158 | 205 | 204 |
| PKE in GE | 99.000 | 65.175 | 85.240 | 84.150 |
| PEK in GE | 275.000 | - | 16.300 | 0 |
| ZDG in % | 100 | 0 | 59 | 48 |
| ZAG in % | 100 | 0 | 88 | 95 |
| ZPA in % | 100 | 0 | 93 | 95 |
| ZPL in % | 100 | 0 | 80 | 77 |
| ZKE in % | 0 | 100 | 42 | 44 |
| ZEK in % | 0 | - | 94 | 100 |
| ZEG in % | 50 | 50 | 73 | 74 |
| [3;4] | | | Vorgänger: \bar{n} | |
| | n^* | n^0 | \hat{n} | \bar{n} |
| DZG in % | 83 | 41 | 61 | 58 |
| AAG in % | 100 | 38 | 98 | 97 |
| PAU in % | 73 | 37 | 74 | 71 |
| PKO in GE | 240 | 158 | 213 | 204 |
| PKE in GE | 99.000 | 65.175 | 87.863 | 84.150 |
| PEK in GE | 275.000 | - | 10.500 | 0 |
| ZDG in % | 100 | 0 | 47 | 41 |
| ZAG in % | 100 | 0 | 96 | 95 |
| ZPA in % | 100 | 0 | 100 | 95 |
| ZPL in % | 100 | 0 | 81 | 77 |
| ZKE in % | 0 | 100 | 33 | 44 |
| ZEK in % | 0 | - | 96 | 100 |
| ZEG in % | 50 | 50 | 73 | 74 |
| [4;5] | | | Vorgänger: \bar{n} | |
| | n^* | n^0 | \hat{n} | \bar{n} |
| DZG in % | 84 | 40 | 69 | 68 |
| AAG in % | 100 | 51 | 100 | 76 |
| PAU in % | 66 | 40 | 66 | 71 |
| PKO in GE | 240 | 158 | 212 | 204 |
| PKE in GE | 108.000 | 71.100 | 95.400 | 91.800 |
| PEK in GE | 275.000 | - | 25.000 | 0 |
| ZDG in % | 100 | 0 | 67 | 64 |
| ZAG in % | 100 | 0 | 98 | 51 |
| ZPA in % | 100 | 0 | 100 | 100 |
| ZPL in % | 100 | 0 | 89 | 71 |
| ZKE in % | 0 | 100 | 34 | 44 |
| ZEK in % | 0 | - | 88 | 100 |
| ZEG in % | 50 | 50 | 75 | 72 |

Abb. 9-12b: Bezugswerte und Zielerreichungsgrade für Personalentwicklungspfade (Teil 2)




| [5;6] | Bezugswerte | | Vorgänger: \hat{n} | | | |
|-----------|-------------|--------|----------------------|-----------|----------------------|-----------|
| | n^* | n^0 | \hat{n} | \bar{n} | | |
| DZG in % | 79 | 36 | 58 | 70 | | |
| AAG in % | 100 | 49 | 96 | 94 | | |
| PAU in % | 74 | 45 | 71 | 70 | | |
| PKO in GE | 240 | 158 | 216 | 212 | | |
| PKE in GE | 108.000 | 71.100 | 6250 | 0 | | |
| PEK in GE | 275.000 | - | 97.218 | 95.400 | | |
| ZDG in % | 100 | 0 | 50 | 78 | | |
| ZAG in % | 100 | 0 | 92 | 88 | | |
| ZPA in % | 100 | 0 | 90 | 85 | | |
| ZPL in % | 100 | 0 | 77 | 84 | | |
| ZKE in % | 0 | 100 | 29 | 34 | | |
| ZEK in % | 0 | - | 97 | 99 | | |
| ZEG in % | 50 | 50 | 70 | 75 | | |
| [6;7] | | | Vorgänger: \hat{n} | | | |
| | n^* | n^0 | \hat{n} | \bar{n} | | |
| DZG in % | 79 | 36 | 57 | 48 | | |
| AAG in % | 100 | 49 | 98 | 97 | | |
| PAU in % | 74 | 45 | 73 | 75 | | |
| PKO in GE | 240 | 158 | 218 | 216 | | |
| PKE in GE | 108.000 | 71.100 | 98.100 | 92.250 | | |
| PEK in GE | 275.000 | - | 10.450 | 0 | | |
| ZDG in % | 100 | 0 | 54 | 36 | | |
| ZAG in % | 100 | 0 | 96 | 95 | | |
| ZPA in % | 100 | 0 | 99 | 94 | | |
| ZPL in % | 100 | 0 | 80 | 75 | | |
| ZKE in % | 0 | 100 | 26 | 29 | | |
| ZEK in % | 0 | - | 96 | 100 | | |
| ZEG in % | 50 | 50 | 71 | 70 | | |
| [7;8] | | | Vorgänger: \hat{n} | | Vorgänger: \bar{n} | |
| | n^* | n^0 | \hat{n} | \bar{n} | \hat{n} | \bar{n} |
| DZG in % | 79 | 32 | 56 | 54 | 47 | 38 |
| AAG in % | 100 | 47 | 96 | 95 | 98 | 92 |
| PAU in % | 82 | 46 | 80 | 80 | 80 | 76 |
| PKO in GE | 240 | 158 | 219 | 218 | 220 | 216 |
| PKE in GE | 108.000 | 71.100 | 98.550 | 98.100 | 99.121 | 92.250 |
| PEK in GE | 275.000 | - | 8.000 | 0 | 4.350 | 0 |
| ZDG in % | 100 | 0 | 51 | 48 | 32 | 13 |
| ZAG in % | 100 | 0 | 92 | 90 | 96 | 85 |
| ZPA in % | 100 | 0 | 94 | 94 | 95 | 83 |
| ZPL in % | 100 | 0 | 78 | 78 | 74 | 61 |
| ZKE in % | 0 | 100 | 25 | 26 | 24 | 29 |
| ZEK in % | 0 | - | 96 | 100 | 98 | 100 |
| ZEG in % | 50 | 50 | 69 | 70 | 68 | 63 |

Abb. 9-12c: Bezugswerte und Zielerreichungsgrade für Personalentwicklungspfade (Teil 3)

| [8;9] | Bezugswerte | | Vorgänger: \hat{n} | | Vorgänger: \bar{n} | |
|-----------|-------------|--------|----------------------|-----------|----------------------|-----------|
| | n^* | n^0 | \hat{n} | \bar{n} | \hat{n} | \bar{n} |
| DZG in % | 79 | 33 | 64 | 56 | 53 | 53 |
| AAG in % | 100 | 49 | 99 | 99 | 97 | 98 |
| PAU in % | 79 | 47 | 78 | 78 | 78 | 78 |
| PKO in GE | 240 | 158 | 221 | 220 | 222 | 217 |
| PKE in GE | 108.000 | 71.100 | 99.620 | 99.121 | 99.900 | 97.650 |
| PEK in GE | 275.000 | - | 35.000 | 0 | 4.500 | 0 |
| ZDG in % | 100 | 0 | 67 | 50 | 44 | 44 |
| ZAG in % | 100 | 0 | 98 | 98 | 95 | 95 |
| ZPA in % | 100 | 0 | 98 | 98 | 98 | 98 |
| ZPL in % | 100 | 0 | 88 | 82 | 79 | 79 |
| ZKE in % | 0 | 100 | 23 | 24 | 22 | 28 |
| ZEK in % | 0 | - | 87 | 100 | 98 | 100 |
| ZEG in % | 50 | 50 | 71 | 72 | 69 | 71 |
| [9;10] | | | Vorgänger: \bar{n} | | Vorgänger: \bar{n} | |
| | n^* | n^0 | \hat{n} | \bar{n} | \hat{n} | \bar{n} |
| DZG in % | 79 | 33 | 47 | 48 | 59 | 51 |
| AAG in % | 100 | 49 | 98 | 97 | 97 | 99 |
| PAU in % | 79 | 47 | 76 | 76 | 77 | 78 |
| PKO in GE | 240 | 158 | 220 | 217 | 221 | 220 |
| PKE in GE | 108.000 | 71.100 | 99.121 | 97.650 | 99.650 | 99.121 |
| PEK in GE | 275.000 | - | 8.000 | 0 | 30.000 | 0 |
| ZDG in % | 100 | 0 | 30 | 33 | 56 | 39 |
| ZAG in % | 100 | 0 | 96 | 93 | 95 | 97 |
| ZPA in % | 100 | 0 | 91 | 91 | 94 | 97 |
| ZPL in % | 100 | 0 | 72 | 72 | 81 | 78 |
| ZKE in % | 0 | 100 | 24 | 28 | 23 | 24 |
| ZEK in % | 0 | - | 97 | 89 | 89 | 100 |
| ZEG in % | 50 | 50 | 67 | 68 | 69 | 70 |
| [10;11] | | | Vorgänger: \bar{n} | | Vorgänger: \bar{n} | |
| | n^* | n^0 | \hat{n} | \bar{n} | \hat{n} | \bar{n} |
| DZG in % | 78 | 38 | 64 | 63 | 67 | 72 |
| AAG in % | 95 | 44 | 92 | 94 | 94 | 94 |
| PAU in % | 74 | 43 | 75 | 74 | 74 | 74 |
| PKO in GE | 240 | 158 | 216 | 217 | 218 | 220 |
| PKE in GE | 108.000 | 71.100 | 97.200 | 97.650 | 98.050 | 99.121 |
| PEK in GE | 200.000 | - | 4.000 | 0 | 4.000 | 0 |
| ZDG in % | 100 | 0 | 67 | 64 | 84 | 84 |
| ZAG in % | 100 | 0 | 96 | 98 | 99 | 99 |
| ZPA in % | 100 | 0 | 100 | 99 | 99 | 99 |
| ZPL in % | 100 | 0 | 86 | 88 | 93 | 94 |
| ZKE in % | 0 | 100 | 27 | 27 | 27 | 25 |
| ZEK in % | 0 | - | 98 | 100 | 98 | 100 |
| ZEG in % | 50 | 50 | 76 | 75 | 78 | 78 |

Abb. 9-12d: Bezugswerte und Zielerreichungsgrade für Personalentwicklungspfade (Teil 4)

Legende:

| | |
|---|--|
| n^* | Universalistenlösung |
| n^0 | kostenorientierte Personalstruktur |
| \hat{n} | heuristisch optimale Personalstruktur |
| \bar{n} | Personalstruktur mit minimalen Personalentwicklungskosten |
| \tilde{n} | Personalstruktur mit verbesserter produktionslogistischer Zielerreichung |
|  | Personalentwicklungspfad $q=1$ |
|  | Personalentwicklungspfad $q=2$ |
|  | abgebrochener Personalentwicklungspfad |

10. Verzeichnis der Formelzeichen

| Formelzeichen | Bezeichnung | Definiert bzw. zuerst verwendet in Kapitel |
|---------------|---|--|
| a | Anzahl Entwicklungsschritte im Zeitfenster von Entwicklungsschritt s | 2.1.1.2 |
| A_0 | Anschaffungsausgabe zum Zeitpunkt t_0 | 5.1.1 |
| A_t | Auszahlungen zum Zeitpunkt t | 5.1.1 |
| AAE | Anzahl bis zum Planungshorizont eingesteuerter Fertigungsaufträge | 3.3.2.2 |
| AAE_{se} | Anzahl für e in der Planungsphase $[s;s+1]$ eingesteuerter Fertigungsaufträge | 9.6.1 |
| AAG_s | Abarbeitungsgrad des Fertigungsprogramms in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 3.3.2.4 |
| AAG_{sn^*} | Abarbeitungsgrad bei Universalistenstruktur n^* in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 3.3.5.1 |
| ABE_s | Anzahl Betriebsmittel in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 3.3.1.1 |
| AER | Anzahl Entscheidungsregeln | 4.4.2 |
| AFE | Anzahl Funktionselemente | 3.3.1.1 |
| AFE_s | Anzahl Funktionselemente in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 3.3.1.1 |
| AFE_{sp} | Anzahl Funktionselemente, die der Person p in der Planungsphase $[s;s+1]$ zugeordnet sind | 3.3.3.1 |
| AFU | Anzahl Funktionen | 3.3.1.1 |
| AFU_s | Anzahl Funktionen in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 3.3.1.1 |
| AIA_j | abgearbeiteter Arbeitsinhalt des eingesteuerten Fertigungsauftrages | 3.3.2.4 |
| AIG_j | Arbeitsinhalt des Fertigungsauftrages j | 3.3.2.4 |

| Formelzeichen | Bezeichnung | Definiert bzw. zuerst verwendet in Kapitel |
|---------------|---|--|
| ANA_{sl} | absoluten Anzahl vergeblicher Anforderungen nach Funktionselement l in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 9.2.1 |
| ANR_{sl} | relative Häufigkeit vergeblicher Anforderungen nach Funktionselement l in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 9.2.1 |
| ANP_{sy} | Anzahl Personen p , die in der Planungsphase $[s;s+1]$ dem Personaltyp y zugeordnet sind | 3.3.1.1 |
| ANU | Annuität | 5.1.2 |
| APE_s | Anzahl Personen in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 3.3.1.1 |
| AWL | Anfangswasserstand | 9.4 |
| AS_{pi} | Arbeitsdauer der Person p in Schicht i | 3.3.2.5 |
| ASC_p | Anzahl Schichten der Person p in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 3.3.2.5 |
| AVO | Anzahl Arbeitsvorgänge im Fertigungssystem | 3.3.2.2 |
| b, B | Index und Indexmenge für Betriebsmittel | 3.3.1.1 |
| B_s | Indexmenge für Betriebsmittel in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 3.3.1.1 |
| C_0 | Kapitalwert | 5.1.2 |
| d_v | Durchführungszeit für das Ausführen des Arbeitsvorganges v | 3.3.2.3 |
| d_{rv} | Durchführungszeit für das Rüsten bei Arbeitsvorgang v | 3.3.2.3 |
| D_t | Rückfluss zum Zeitpunkt t | 5.1.1 |
| DFM | mengenmäßige Zu- bzw. Abnahme in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 6.1.1 |
| DLM_j | minimale Durchlaufzeit des Fertigungsauftrags j | 3.3.2.3 |
| DLM_v | minimale Durchlaufzeit des Arbeitsvorganges v | 3.3.2.3 |
| DZG_j | Durchlaufzeitgrad des Fertigungsauftrages j | 3.3.2.3 |

| Formelzeichen | Bezeichnung | Definiert bzw. zuerst verwendet in Kapitel |
|---------------|---|--|
| DZG_s | mittlerer Durchlaufzeitgrad der in der Planungsphase $[s;s+1]$ eingesteuerten und fertiggestellten Fertigungsaufträge | 3.3.2.3 |
| DZG_{sn^*} | mittlerer Durchlaufzeitgrad bei Universalistenstruktur n^* in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 3.3.5.1 |
| e, E | Index und Indexmenge für Erzeugnis-klassen | 6.1.1 |
| E_t | Einzahlungen zum Zeitpunkt t | 5.1.1 |
| EPE_s | Ausschöpfungsgrad des Entwicklungspotenzials in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 3.3.4.3 |
| EPE_{sn^*} | Ausschöpfungsgrad des Entwicklungspotenzials bei Universalistenstruktur n^* in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 3.3.5.3 |
| EPE_{sp} | Ausschöpfungsgrad des Entwicklungspotenzials der Person p in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 3.3.4.3 |
| EPV_s | Ausschöpfungsgrad des Vereinfachungspotenzials in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 3.3.4.3 |
| EPV_{sn^*} | Ausschöpfungsgrad des Vereinfachungspotenzials bei Universalistenstruktur n^* in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 3.3.5.3 |
| EPV_{sp} | Ausschöpfungsgrad des Vereinfachungspotenzials der Person p in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 3.3.4.3 |
| ERA_x | Entscheidungsregel für den Abbruch eines Personalentwicklungspfades | 4.4.2 |
| LXR | lexikographische Verknüpfung von Entscheidungsregeln | 4.4.3 |
| f, F | Index und Indexmenge für Funktionen | 3.3.1.1 |
| F_s | Indexmenge für Funktionen in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 3.3.1.1 |
| FMA | Faktor für die mengenmäßige Zu- und Abnahme | 6.1.2 |

| Formelzeichen | Bezeichnung | Definiert bzw. zuerst verwendet in Kapitel |
|------------------------|---|--|
| <i>GAI</i> | Gewichtungsfaktor für abgearbeiteten Arbeitsinhalt | 4.2.2.1 |
| <i>GNP</i> | Gewichtungsfaktor für Neuzuordnungspotenzial | 4.2.2.1 |
| <i>GPA</i> | Gewichtungsfaktor für Personalauslastung | 4.2.2.1 |
| <i>GPV</i> | Gewichtungsfaktor für Personalauslastung zur Qualifikationsvereinfachung | 4.2.2.1 |
| <i>GRK_s</i> | Grad der Reduzierung von Personaleinsatzkosten in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 4.3.2 |
| <i>GSV</i> | Gewichtungsfaktor für sequenzielle Vollständigkeit | 4.2.2.1 |
| <i>GSV_k</i> | Gewichtungsfaktor für Variationskoeffizient der Funktionsklasse k | 3.3.4.2 |
| <i>GVE</i> | Gewichtungsfaktor für potenzielle Verfügbarkeit | 4.2.2.1 |
| <i>GVL_s</i> | Grad der Verbesserung der produktionslogistischen Zielerreichung in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 4.3.2 |
| <i>GVP</i> | Gewichtungsfaktor für Vereinfachungspotenzial | 4.2.2.1 |
| <i>GVZ</i> | Wertebereich des Grads der Verschlechterung des Gesamtzielerreichungsgrades | 4.4.2 |
| <i>GZA</i> | Gewichtungsfaktor für Zielerreichungsgrad Abarbeitungsgrad | 3.3.5.1 |
| <i>GZB</i> | Gewichtungsfaktor für personalbezogenen Zielerreichungsgrad | 3.3.5.4 |
| <i>GZD</i> | Gewichtungsfaktor für Zielerreichungsgrad Durchlaufzeitgrad | 3.3.5.1 |
| <i>GZE</i> | Gewichtungsfaktor für Zielerreichungsgrad Personalentwicklungskosten | 3.3.5.2 |
| <i>GZI</i> | Gewichtungsfaktor für Zielerreichungsgrad Personaleinsatzkosten | 3.3.5.2 |
| <i>GZL</i> | Gewichtungsfaktor für produktionslogistischen Zielerreichungsgrad | 3.3.5.4 |

| Formelzeichen | Bezeichnung | Definiert bzw. zuerst verwendet in Kapitel |
|------------------------|---|--|
| <i>GZM</i> | Gewichtungsfaktor für monetären Zielerreichungsgrad | 3.3.5.4 |
| <i>GZN</i> | Gewichtungsfaktor für Zielerreichungsgrad Entwicklungspotenzial | 3.3.5.3 |
| <i>GZP</i> | Gewichtungsfaktor für Zielerreichungsgrad Personalauslastung | 3.3.5.1 |
| <i>GZS</i> | Gewichtungsfaktor für Zielerreichungsgrad Sequenzielle Vollständigkeit | 3.3.5.3 |
| <i>GZV</i> | Gewichtungsfaktor für Zielerreichungsgrad Vereinfachungspotenzial | 3.3.5.3 |
| <i>GZU</i> | Gewichtungsfaktor für Zielerreichungsgrad Potenzialausschöpfung | 3.3.5.3 |
| <i>h, H</i> | Index und Indexmenge für Pfade im Durchlaufplan | 3.3.2.3 |
| <i>H_j</i> | Indexmenge für Pfade im Durchlaufplan für Fertigungsauftrag <i>j</i> | 3.3.2.3 |
| <i>i</i> | vorgegebener Kalkulationszinsfuß | 5.1.2 |
| <i>INT</i> | konstante Dauer der Planungsphasen | 5.2 |
| <i>ITE</i> | Index für Iterationsschritte | 9.4 |
| <i>j, J</i> | Index und Indexmenge für Fertigungsaufträge | 3.3.2.2 |
| <i>J_s</i> | Indexmenge für in der Planungsphase [<i>s</i> ; <i>s+1</i>] eingesteuerter Fertigungsaufträge | 3.3.1.1 |
| <i>J_{se}</i> | Indexmenge für Fertigungsaufträge der Erzeugnisklasse <i>e</i> in der Planungsphase [<i>s</i> ; <i>s+1</i>] | 6.1.1 |
| <i>JFE_s</i> | Menge der in der Planungsphase [<i>s</i> ; <i>s+1</i>] eingesteuerten und fertiggestellten Fertigungsaufträge | 3.3.2.2 |
| <i>k, K</i> | Index und Indexmenge für Funktions- klassen | 3.3.4.2 |
| <i>l, L</i> | Index und Indexmenge für Funktionsele- mente | 3.3.1.1 |

| Formelzeichen | Bezeichnung | Definiert bzw. zuerst verwendet in Kapitel |
|---------------|---|--|
| l^* | Funktionselement mit höchstem Stunden-satz | 3.3.3.1 |
| L_k | Funktionselemente der Funktionsklasse k | 3.3.4.2 |
| L_s | Indexmenge für Funktionselemente in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 3.3.1.1 |
| L_{sn} | Qualifikationen der Personalstruktur n zum Entwicklungsschritt s | 3.3.1.1 |
| L_{sp} | Qualifikation der Person p zum Entwicklungsschritt s | 3.3.1.1 |
| LER | Liste von Entscheidungsregeln | 4.4.3 |
| m_j | Menge des Fertigungsauftrages j | 3.3.2.2 |
| m_s | gesamte Fertigungsmenge in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 6.1.2 |
| m_{se} | Fertigungsmenge der Erzeugnisklasse e in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 6.1.2 |
| MAI_{sk} | Mittelwert der abgearbeiteten Arbeitsinhalte für Funktionsklasse k in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 3.3.4.2 |
| MER | Menge von Entscheidungsregeln für den Abbruch eines Personalentwicklungspfades | 4.4.2 |
| MNL_{sp} | Indexmenge für Funktionselemente, für die Person p zum Entwicklungsschritt s einen negativen Potenzialwert aufweist | 3.3.4.3 |
| MPL_{sp} | Indexmenge für Funktionselemente, für die Person p zum Entwicklungsschritt s einen positiven Potenzialwert aufweist | 3.3.4.3 |
| MQF_s | Menge der im Zeitfenster $[s-a;s]$ zu qualifizierenden Funktionselemente | 3.3.3.2 |
| MQF_{sp} | Menge bei Person p im Zeitfenster $[s-a;s]$ zu qualifizierenden Funktionselemente | 3.3.3.2 |
| MSV_s | Kennzahl für die sequenzielle Vollständigkeit in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 3.3.4.2 |

| Formelzeichen | Bezeichnung | Definiert bzw. zuerst verwendet in Kapitel |
|-----------------------------|--|--|
| MSV_{sn^*} | gewichteter Mittelwertes der sequenziellen Vollständigkeit bei Universalistenstruktur n^* in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 3.3.5.3 |
| MVF_{sp} | Menge bei Person p im Zeitfenster $[s-a;s]$ zu entziehenden Funktionselemente | 3.3.3.2 |
| n, N | Index und Indexmenge für alternative Personalstrukturen | 3.3.1.1 |
| n^* | Universalistenlösung | 3.3.5.1 |
| n^0 | kostenorientierte Personalstruktur | 3.3.5.2 |
| \hat{n} | heuristisch optimale Personalstruktur | 4.3.4 |
| \bar{n} | Personalstruktur mit minimalen Personalentwicklungskosten | 4.3.1 |
| \tilde{n} | Personalstruktur mit verbesserter produktionslogistischer Zielerreichung | 4.3.2 |
| \check{n} | Personalstruktur \check{n} mit reduzierten Personaleinsatzkosten | 4.3.3 |
| \underline{n} | direkter Vorgänger der Personalstruktur n | 4.4.1 |
| $\underline{\underline{n}}$ | direkter Vorgänger der Personalstruktur \underline{n} | 4.4.2 |
| NPL_s | Indexmenge für weiter verfolgte Planungslösungen in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 4.4.1 |
| NPS | Anzahl alternativer Personalstrukturen | 3.3.1.1 |
| OIG | obere Interventionsgrenze | 4.3.2 |
| p, P | Index und Indexmenge für Personen | 3.3.1.1 |
| P_s | Indexmenge für Personen in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 3.3.1.1 |
| P_{sn} | Indexmenge für Personen, die in der Planungsphase $[s;s+1]$ der Personalstruktur n zugeordnet sind | 3.3.1.1 |
| P_{sy} | Indexmenge für Personen, die dem Personaltyp y in der Planungsphase $[s;s+1]$ zugeordnet sind | 3.3.1.1 |
| PAU_s | mittlere Personalauslastung der Personalstruktur in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 3.3.2.5 |

| Formelzeichen | Bezeichnung | Definiert bzw. zuerst verwendet in Kapitel |
|---------------|---|--|
| PAU_{sp} | Personalauslastung der Person p in der Planungsphase $[s; s+1]$ | 3.3.2.5 |
| PBK_{sp} | Personalbeschaffungskosten für Person p im Zeitfenster $[s-a; s]$ (in GE/h) | 3.3.3.2 |
| PEK_s | Personalentwicklungskosten der Personalstruktur im Zeitfenster $[s-a; s]$ (in GE/h) | 3.3.3.2 |
| PEK_{sn^*} | Personalentwicklungskosten für Universalistenstruktur n^* in der Planungsphase $[s; s+1]$ (in GE/h) | 3.3.5.1 |
| PEK_{sp} | Personalentwicklungskosten der Person p im Zeitfenster $[s-a; s]$ (in GE/h) | 3.3.3.2 |
| PFK_{sp} | Personalfreistellungskosten für Person p im Zeitfenster $[s-a; s]$ (in GE/h) | 3.3.3.2 |
| PKE_s | Personaleinsatzkosten der Personalstruktur in der Planungsphase $[s; s+1]$ (in GE/h) | 3.3.3.1 |
| PKE_{sn^0} | Personaleinsatzkosten bei kostenorientierter Personalstruktur n^0 (in GE/h) in der Planungsphase $[s; s+1]$ | 3.3.5.1 |
| PKO_s | Personalstundensatz der Personalstruktur in der Planungsphase $[s; s+1]$ (in GE/h) | 3.3.3.1 |
| PKO_{sp} | Personalstundensatz der Person p in der Planungsphase $[s; s+1]$ (in GE/h) | 3.3.3.1 |
| PKU | Universalistenstundensatz (in GE/h) | 3.3.3.1 |
| PQK_{sp} | Qualifikationsanpassungskosten für Person p im Zeitfenster $[s-a; s]$ (in GE/h) | 3.3.3.2 |
| q_{lp} | normierter Entwicklungspotenzialwert der Person p für Funktionselement l | 3.3.4.3 |
| $q_{MT,p}$ | theoretischer zeitlicher Kapazitätsbestand der Person p | 3.3.2.5 |
| q_{sn}, Q_s | Index und Indexmenge der Personalentwicklungspfade q für Personalstrukturen, die bis zum Entwicklungsschritt s weiter verfolgt werden | 4.4.1 |

| Formelzeichen | Bezeichnung | Definiert bzw. zuerst verwendet in Kapitel |
|---------------|---|--|
| $Q_{MT,s}$ | theoretischer zeitlicher Kapazitätsbestand des Fertigungssystems in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 3.3.2.5 |
| QEK_l | Kosten der Qualifikationserweiterung für Funktionselement l (in GE/h) | 3.3.3.2 |
| QEK_{sp} | Kosten für die Qualifikationserweiterung der Person p im Zeitfenster $[s-a;s]$ | 3.3.3.2 |
| QSV_{slp} | Qualifizierungsbedarf der Person p zur Erreichung der sequenziellen Vollständigkeit für das Funktionselement l in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 3.3.4.2 |
| QVK_l | Kosten der Qualifikationsvereinfachung für Funktionselement l (in GE/h) | 3.3.3.2 |
| QVK_{sp} | Kosten der Qualifikationsvereinfachung der Person p im Zeitfenster $[s-a;s]$ | 3.3.3.2 |
| r, R | Index und Indexmenge für Potenzialkriterien | 3.3.4.3 |
| RSP | Regengeschwindigkeit | 9.4 |
| s, S | Index und Indexmenge für Entwicklungsschritte des Fertigungssystems | 2.1.1.1 |
| s^* | Endezeitpunkt des Planungshorizontes | 2.1.1.1 |
| SAE_{sp} | abgearbeiteter Arbeitsinhalt von Funktionselementen mit negativem Potenzialwert von Person p in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 3.3.4.3 |
| SAH_{sp} | (simulativ) abgearbeiteter Arbeitsinhalt für Haupttätigkeiten von Person p in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 3.3.2.5 |
| SAH_{slp} | (simulativ) abgearbeiteter Arbeitsinhalt für Haupttätigkeiten des Funktionselementes l von Person p in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 3.3.4.2 |
| SAI_s | von der Personalstruktur in der Planungsphase $[s;s+1]$ (simulativ) abgearbeiteter Arbeitsinhalt | 3.3.2.5 |

| Formelzeichen | Bezeichnung | Definiert bzw. zuerst verwendet in Kapitel |
|---------------|---|--|
| SAI_{sk} | von der Personalstruktur in der Planungsphase $[s;s+1]$ (simulativ) abgearbeiteter Arbeitsinhalt für Funktionsklasse k | 3.3.4.2 |
| SAI_{sl} | von der Personalstruktur in der Planungsphase $[s;s+1]$ (simulativ) abgearbeiteter Arbeitsinhalt für Funktionselement l | 3.3.4.2 |
| SAI_{sp} | von Person p in der Planungsphase $[s;s+1]$ (simulativ) abgearbeiteter Arbeitsinhalt | 3.3.2.5 |
| SAI_{skp} | von Person p in der Planungsphase $[s;s+1]$ (simulativ) abgearbeiteter Arbeitsinhalt für Funktionsklasse k | 3.3.4.2 |
| SAI_{slp} | von Person p in der Planungsphase $[s;s+1]$ (simulativ) abgearbeiteter Arbeitsinhalt für Funktionselement l | 3.3.4.2 |
| SAN_{sp} | von Person p in der Planungsphase $[s;s+1]$ (simulativ) abgearbeiteter Arbeitsinhalt für Nebentätigkeiten | 3.3.2.5 |
| SAN_{slp} | von Person p in der Planungsphase $[s;s+1]$ (simulativ) abgearbeiteter Arbeitsinhalt für Nebentätigkeiten des Funktionselementes l | 3.3.4.2 |
| SAP_{sp} | von Person p in der Planungsphase $[s;s+1]$ abgearbeiteter Arbeitsinhalt von Funktionselementen mit positivem Potenzialwert | 3.3.4.3 |
| SAU_{sp} | von Person p in der Planungsphase $[s;s+1]$ (simulativ) abgearbeiteter Arbeitsinhalt für stochastisch verteilte Umfeld- und Instandhaltungsaufgaben | 3.3.2.5 |
| SAU_{slp} | von Person p in der Planungsphase $[s;s+1]$ (simulativ) abgearbeiteter Arbeitsinhalt für Funktionselement $l \in L_3 \cup L_4$ | 3.3.4.2 |
| SAZ_{sp} | von Person p in der Planungsphase $[s;s+1]$ (simulativ) abgearbeiteter Arbeitsinhalt für Zusatztätigkeiten | 3.3.2.5 |

| Formelzeichen | Bezeichnung | Definiert bzw. zuerst verwendet in Kapitel |
|---------------|---|--|
| SAZ_{slp} | von Person p in der Planungsphase $[s;s+1]$ (simulativ) abgearbeiteter Arbeitsinhalt für Zusatztätigkeiten des Funktionselementes l | 3.3.4.2 |
| SKO_{slp} | Stundensatz des Funktionselementes l in der Planungsphase $[s;s+1]$ (in GE) | 3.3.3.1 |
| SKO_{sl^*} | Stundensatz des höchstdotierten Funktionselementes l^* (in GE/h) | 3.3.3.1 |
| SKO_{sl^*p} | Stundensatz des am höchsten dotierten Funktionselementes l^* der Person p in der Planungsphase $[s;s+1]$ (in GE/h) | 3.3.3.1 |
| SMN_s | Stundensatz des in der Planungsphase $[s;s+1]$ am niedrigsten dotierten Funktionselementes (in GE/h) | 3.3.3.1 |
| t, T | Index und Indexmenge für Zeitpunkte für Veränderungen | 2.1.1.1 |
| t^* | Endezeitpunkt des Planungshorizontes | 2.1.1.1 |
| $t_{dS,j}$ | (simulierte) Durchführungszeit des Fertigungsauftrages j | 3.3.2.3 |
| $t_{er,v}$ | Erholungszeit bei Arbeitsvorgang v | 3.3.2.3 |
| $t_{h,v}$ | Hauptnutzungszeit des Betriebsmittels für Arbeitsvorgang v | 3.3.2.3 |
| $t_{MH,svp}$ | Haupttätigkeitszeit der Person p für abgearbeiteten Arbeitsvorgang v in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 3.3.2.5 |
| $t_{MN,svp}$ | Nebentätigkeitszeit der Person p für abgearbeiteten Arbeitsvorgang v in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 3.3.2.5 |
| $t_{MZ,svp}$ | Zusatztätigkeitszeit der Person p für abgearbeiteten Arbeitsvorgang v in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 3.3.2.5 |
| $t_{n,v}$ | Nebennutzungszeit des Betriebsmittels für Arbeitsvorgang v | 3.3.2.3 |
| $t_{p,v}$ | persönliche Verteilzeit bei Arbeitsvorgang v | 3.3.2.3 |
| $t_{rer,v}$ | Rüsterholungszeit bei Arbeitsvorgang v | 3.3.2.3 |

| Formelzeichen | Bezeichnung | Definiert bzw. zuerst verwendet in Kapitel |
|---------------|--|--|
| $t_{rh,v}$ | Hauptnutzungszeit für Rüsten bei Arbeitsvorgang v | 3.3.2.3 |
| $t_{rn,v}$ | Nebennutzungszeit für Rüsten bei Arbeitsvorgang v | 3.3.2.3 |
| $t_{rp,v}$ | persönliche Rüstverteilstzeit bei Arbeitsvorgang v | 3.3.2.3 |
| $t_{rt,v}$ | Tätigkeitszeit des Menschen für Rüsten bei Arbeitsvorgang v | 3.3.2.3 |
| t_s | Index für Entwicklungsschritte des Fertigungssystems zum Zeitpunkt t | 2.1.1.1 |
| $t_{SAN,v}$ | (simulierte) Liegezeit nach der Bearbeitung von Arbeitsvorgang v | 3.3.2.3 |
| $t_{SAV,v}$ | (simulierte) Liegezeit vor der Bearbeitung von Arbeitsvorgang v | 3.3.2.3 |
| $t_{t,v}$ | Tätigkeitszeit des Menschen für Arbeitsvorgang v | 3.3.2.3 |
| $t_{ztS,v}$ | (simulierte) Transportzeit von Arbeitsvorgang v zum Betriebsmittel | 3.3.2.3 |
| $t_{zuS,j}$ | (simulierte) Zusatzzeit des Fertigungsauftrages j | 3.3.2.3 |
| $t_{zwS,j}$ | (simulierte) Zwischenzeit des Fertigungsauftrages j | 3.3.2.3 |
| $t_{zwS,v}$ | (simulierte) Zwischenzeit des Arbeitsvorgangs v | 3.3.2.3 |
| $T_{D,j}$ | (simulierte) Durchlaufzeit des Fertigungsauftrages j | 3.3.3 |
| u | Universalistenkonstante (in GE/h; abhängig vom Stundensatz eines Universalisten) | 3.3.3.1 |
| UIG | untere Interventionsgrenze | 4.3.2 |
| v, V | Index und Indexmenge für Arbeitsvorgänge im Fertigungssystem | 3.3.2.2 |
| V_j | Indexmenge für Arbeitsvorgänge des Fertigungsauftrages j | 3.3.2.2 |

| Formelzeichen | Bezeichnung | Definiert bzw. zuerst verwendet in Kapitel |
|---------------|---|--|
| V_{jh} | Arbeitsvorgänge auf dem Pfad h des Durchlaufplans für Auftrag j | 3.3.2.2 |
| V_s | Indexmenge für Arbeitsvorgänge in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 3.3.2.2 |
| V_{sb} | Indexmenge für am Betriebsmittel b abgearbeitete Arbeitsvorgänge in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 3.3.2.2 |
| V_{sp} | Indexmenge für von Person p abgearbeitete Arbeitsvorgänge in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 3.3.2.2 |
| V_{slp} | Indexmenge für Arbeitsvorgänge des Funktionselementes l , die von Person p in der Planungsphase $[s;s+1]$ abgearbeitet wurden | 3.3.2.2 |
| VAR_{sk} | Varianz der abgearbeiteten Arbeitsinhalte für Funktionsklasse k in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 3.3.4.2 |
| VEP_{slp} | Vereinfachungspotenzialwert der Person p für Funktionselement l in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 3.3.4.3 |
| VER_{sl} | potenzielle Verfügbarkeit aller nicht für das Funktionselement l qualifizierten Personen in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 4.2.2.1 |
| VER_{slp} | potenzielle Verfügbarkeit der Person p für Funktionselement l in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 4.2.2.1 |
| VSV_{sk} | Variationskoeffizient der abgearbeiteten Arbeitsinhalte für die Funktionsklasse k in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 3.3.4.2 |
| w_{lp} | Entwicklungspotenzialwert der Person p für Funktionselement l | 3.3.4.3 |
| w_{lpr} | Skalenwert der Potenzialkriterien | 3.3.4.3 |
| W | Wertemenge der Potenzialkriterien | 3.3.4.3 |
| WAL | Wasserstand | 9.4 |
| WFA | Wiedergewinnungsfaktor | 5.1.2 |

| Formelzeichen | Bezeichnung | Definiert bzw. zuerst verwendet in Kapitel |
|---------------|---|--|
| x | Index für Entscheidungsregeln für den Abbruch eines Personalentwicklungspfades | 4.4.2 |
| y, Y | Index und Indexmenge für Personaltypen | 3.1.1.1 |
| Y_s | Indexmenge für Personaltypen in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 3.3.1.1 |
| z | interner Zinsfuß | 5.1.2 |
| $z_{er,v}$ | Zuschlagprozentsatz für Erholungszeit bei Arbeitsvorgang v | 3.3.2.3 |
| $z_{p,v}$ | persönlicher Verteilzeitprozentsatz bei Arbeitsvorgang v | 3.3.2.3 |
| $z_{rer,v}$ | Zuschlagprozentsatz für Rüsterholungszeit bei Arbeitsvorgang v | 3.3.2.3 |
| $z_{rp,v}$ | persönlicher Rüstverteilstzeitprozentsatz bei Arbeitsvorgang v | 3.3.2.3 |
| z_{sl} | Zuordnungsparameter des Funktionselements l in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 3.3.1.1 |
| z_{slp} | Zuordnungsparameter der Person p zu Funktionselement l in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 3.3.1.1 |
| ZG_p | Zeitgrad der Person p | 3.3.2.3 |
| ZG_b | Zeitgrad des Betriebsmittels b | 3.3.2.3 |
| ZAB_q | abgewerteter Gesamtzielerreichungsgrad für den Personalentwicklungspfad q | 5.2 |
| ZAG_{sn} | Zielerreichungsgrad Abarbeitungsgrad in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 3.3.5.1 |
| ZDG_{sn} | Zielerreichungsgrad mittlerer Durchlaufzeitgrad in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 3.3.5.1 |
| ZEG_{sn} | Gesamtzielerreichungsgrad der Personalstruktur n in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 3.3.5.4 |
| ZEG_{tn} | Gesamtzielerreichungsgrad der Personalstruktur n in der Planungsphase $[t;t+1]$ | 5.2 |
| ZEK_{sn} | Zielerreichungsgrad Personalentwicklungskosten in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 3.3.5.1 |

| Formelzeichen | Bezeichnung | Definiert bzw. zuerst verwendet in Kapitel |
|---------------|---|--|
| ZPA_{sn} | Zielerreichungsgrad mittlere Personalauslastung in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 3.3.5.1 |
| ZPB_{sn} | personalbezogener Zielerreichungsgrad der Personalstruktur in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 3.3.5.3 |
| ZPE_{sn} | Zielerreichungsgrad Entwicklungspotenzial in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 3.3.5.3 |
| ZPL_{sn} | produktionslogistischer Zielerreichungsgrad der Personalstruktur n in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 3.3.5.1 |
| ZPL_{sn}^* | produktionslogistischer Zielerreichungsgrad bei Universalistenstruktur n^* in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 4.3.2 |
| ZPU_{sn} | Zielerreichungsgrad Potenzialausschöpfung der Personalstruktur in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 3.3.5.3 |
| ZPV_{sn} | Zielerreichungsgrad Vereinfachungspotenzial in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 3.3.5.3 |
| ZRE | Zahlungsreihe einer Investition | 5.1.1 |
| ZSV_{sn} | Zielerreichungsgrad sequenzielle Vollständigkeit in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 3.3.5.3 |
| ZUP_{slp} | Neuzuordnungspotenzialwert der Person p für Funktionselement l in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 3.3.4.3 |
| ZUW_{slp} | Neuzuordnungswert der Person p für Funktionselement l in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 4.2.2.1 |
| ZKE_{sn} | Zielerreichungsgrad Personaleinsatzkosten in der Planungsphase $[s;s+1]$ | 3.3.5.1 |

| Formelzeichen | Bezeichnung | Definiert bzw. zuerst verwendet in Kapitel |
|------------------|---|--|
| \mathbb{N} | Menge der natürlichen Zahlen | 3.3.1.1 |
| \mathbb{N}_0 | Menge der nichtnegativen ganzen Zahlen | 2.1.1.1 |
| \ln | natürlicher Logarithmus | 3.3.3.1 |
| $\text{rang}(x)$ | Rangwert von x | 2.1.1.1 |
| \mathbb{R}_+ | Menge der nichtnegativen reellen Zahlen | 2.1.1.1 |
| $ X $ | Mächtigkeit der Menge X | 3.3.1.1 |
| \forall | für alle | 3.3.4.3 |
| \wedge | und | 3.3.1.1 |
| \in | ist Element von | 2.1.1.1 |
| \notin | ist nicht Element von | 4.2.2.1 |
| \setminus | Differenzmenge | 3.3.3.2 |
| \cup | ist Vereinigungsmenge von | 3.3.4.2 |
| \cap | ist Schnittmenge von | 3.3.3.2 |
| \subseteq | ist Teilmenge von | 4.4.1 |
| \emptyset | leere Menge | 3.3.4.2 |
| \succ | ist nachgeordnet | 4.4.3 |
| $[a;b]$ | geschlossenes Intervall | 3.3.4.2 |
| $(a;b]$ | halboffenes Intervall | 3.3.4.2 |

Lebenslauf

Persönliche Daten

| | |
|---------------|----------------|
| Name | Sven Rottinger |
| Geburtsdatum | 04.07.1969 |
| Geburtsort | Rottweil |
| Familienstand | ledig |

Schulausbildung und Studium

| | |
|-------------|--|
| 1975 - 1979 | Grundschule in Rottweil |
| 1979 - 1980 | Leibniz-Gymnasium, Rottweil |
| 1980 - 1988 | Friedrich Wöhler-Gymnasium, Singen |
| 10.05.1988 | Abitur |
| 1991 - 1999 | Studium Wirtschaftsingenieurwesen, Fachrichtung Unternehmensplanung, an der Universität Karlsruhe (TH) |
| 26.03.1999 | Diplom-Hauptprüfung |

Berufstätigkeit

| | |
|-------------|---|
| 1988 - 1990 | Bundeswehr |
| 1995 - 1999 | Praktika in verschiedenen Unternehmen |
| 1999 - 2004 | Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Arbeitswissenschaft und Betriebs- organisation, Universität Karlsruhe (TH) |

Bisher erschienene ifab-Forschungsberichte

Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Gert Zülch

Im Shaker Verlag Aachen erschienen (ab Band 17 mit ISSN 1436-3224):

- Band 34 **Fischer, Jörg:**
Ein generisches Objektmodell zur Modellierung und Simulation operativer Entscheidungen in Produktionssystemen.
2004, Dissertation Universität Karlsruhe. (ISBN 3-8322-2937-X)
- Band 33 **Stock, Patricia; Bogus, Thomas; Stowasser, Sascha:**
Auswirkungen flexibler Arbeitszeitmodelle auf den Personaleinsatz und die Belastung des Personals.
2004, Bericht zum BMBF-Projekt FAZEM. (ISBN 3-8322-2895-0)
- Band 32 **Vollstedt, Thorsten:**
Simulationsunterstützte Personalstrukturplanung auf Basis eines abnutzungsorientierten Instandhaltungskonzeptes.
2003, Dissertation Universität Karlsruhe. (ISBN 3-8322-1113-6)
- Band 31 **Bogus, Thomas:**
Simulationsbasierte Gestaltung von Arbeitszeitmodellen in Dienstleistungsbetrieben mit kundenfrequenzabhängigen Arbeitszeitbedarf.
2002, Dissertation Universität Karlsruhe. (ISBN 3-8322-0831-3)
- Band 30 **Strate, Oliver:**
Logistische Analyse und kennlinienunterstützte Planung von Fertigungsprozessen.
2002, Dissertation Universität Karlsruhe. (ISBN 3-8322-0799-6)
- Band 29 **Jenewein, Klaus; Knauth, Peter; Zülch, Gert (Hrsg.):**
Kompetenzentwicklung in Unternehmensprozessen.
2002. (ISBN 3-8322-0625-6)
- Band 28 **Zülch, Gert; Stock Patricia; Bogus, Thomas (Hrsg.):**
Arbeitszeitflexibilisierung im Dienstleistungsbereich.
2002, Beiträge zu einem Workshop im Rahmen des BMBF-Projektes FAZEM am 19 März 2002.
- Band 27 **Müller, Reinhard:**
Planung hybrider Montagesysteme auf Basis mehrschichtiger Vorranggraphen.
2002, Dissertation Universität Karlsruhe. (ISBN 3-8322-0379-6)

- Band 26 **Stowasser, Sascha:**
Vergleichende Evaluation von Visualisierungsformen zur operativen Werkstattsteuerung.
2002, Dissertation Universität Karlsruhe. (ISBN 3-8322-0007-X)
- Band 25 **Keller, Volker:**
Ansatz zur objektorientierten Modellierung betrieblicher Arbeitsschutzdaten.
2002, Dissertation Universität Karlsruhe. (ISBN 3-8265-9911-X)
- Band 24 **Rinn, Andreas:**
Koordinierung von Produktionsengpässen auf Basis der Leistungsvereinbarung.
2000, Dissertation Universität Karlsruhe. (ISBN 3-8265-7649-7)
- Band 23 **Schneck, Milko:**
Ein Beitrag zur kennzahlunterstützten Investitionsplanung komplexer Arbeitssysteme.
2000, Dissertation Universität Karlsruhe. (ISBN 3-8265-7475-3)
- Band 22 **Knauth, Peter; Zülch, Gert (Hrsg.):**
Innovatives Arbeitszeitmanagement.
2000, Beiträge zu einem Workshop im Rahmen des 45. Kongresses der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft in Karlsruhe am 10. März 1999. (ISBN 3-8265-7165-7)
- Band 21 **Jonsson, Uwe:**
Ein integriertes Objektmodell zur durchlaufplanorientierten Simulation von Produktionssystemen.
2000, Dissertation Universität Karlsruhe. (ISBN 3-8265-6955-5)
- Band 20 **Krüger, Jan:**
Entscheidungstheorie-basierte Simulation der Handlungsorganisation im Fertigungsbereich.
1999, Dissertation Universität Karlsruhe. (ISBN 3-8265-6444-8)
- Band 19 **Heel, Jochen; Krüger, Jan (Hrsg.):**
Personalorientierte Simulation - Praxis und Entwicklungspotential. Workshop, 45. Kongresses der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft, 1999. (ISBN 3-8265-6169-4)
- Band 18 **Heel, Jochen:**
Reorganisation des Personaleinsatzes mit Hilfe der personalorientierten Simulation.
1999, Dissertation Universität Karlsruhe. (ISBN 3-8265-4634-2)

- Band 17 **Brinkmeier, Bernd:**
Prozessorientiertes Prototyping von Organisationsstrukturen im Produktionsbereich.
1998, Dissertation Universität Karlsruhe. (ISBN 3-8265-4244-4)
- Band 16 **Zülch, Gert (Edt.):**
of Organisational Structures, Work Systems and Man-Machine-Interaction. Proceedings of the 20th Meeting of the EHTB-Group, Karlsruhe, May 14-17, 1998. (ISBN 3-8265-3790-4)
- Band 15 **Grundel, Christoph:**
Beitrag zur Analyse mentaler Anforderungen bei rechnerunterstützter Werkstattsteuerung.
1998, Dissertation Universität Karlsruhe. (ISBN 3-8265-3709-2)
- Band 14 **Schiller, Emmerich F.:**
Ein Beitrag zur adaptiv-dynamischen Arbeitsplanung in der Demontage.
1998, Dissertation Universität Karlsruhe. (ISBN 3-8265-3471-9)
- Band 13 **Schiller, Emmerich F.; Müller, Reinhard:**
Simulationsunterstützte Planung der Arbeitsorganisation in manuellen Montagesystemen. 1997, Forschungsbericht zu einem Projekt der Stiftung zur Förderung der Forschung für die gewerbliche Wirtschaft. (ISBN 3-8265-2904-9)

Im Eigenverlag des Instituts für Arbeitswissenschaft und Betriebsorganisation der Universität Karlsruhe erschienen (ISSN 0940-0559):

- Band 12 **Schindele, Hermann:**
Planung qualitätsförderlicher Personalstrukturen im Fertigungsbereich.
1996, gleichzeitig Dissertation Universität Karlsruhe.
- Band 11 **Fischer, Axel Rainer:**
Objektorientierte Modellierung von Prozessketten.
1995, gleichzeitig Dissertation Universität Karlsruhe.
- Band 10 **Grießer, Klaus:**
Einsatz der Blickregistrierung bei der Analyse rechnerunterstützter Steuerungsaufgaben.
1995, gleichzeitig Dissertation Universität Karlsruhe.

- Band 9 **Braun, Wolfgang Jürgen:**
Beitrag zur Festlegung der Arbeitsteilung in manuellen Montagesystemen.
1995, gleichzeitig Dissertation Universität Karlsruhe.
- Band 8 **Zülch, Gert (Hrsg.):**
Neuorientierung der Arbeitsorganisation. 1995, Beiträge des Festkolloquiums am 30. Juni 1995 zum zehnjährigen Bestehen des ifab.
- Band 7 **Heitz, Max-Jürgen:**
Ein engpassorientierter Ansatz zur simulationsunterstützten Planung von Personalstrukturen.
1994, gleichzeitig Dissertation Universität Karlsruhe.
- Band 6 **Grobel, Thomas:**
Analyse der Einflüsse auf die Aufbauorganisation von Produktionssystemen.
1993, gleichzeitig Dissertation Universität Karlsruhe.
- Band 5 **Waldhier, Thomas:**
Integrierte rechnerunterstützte Produkt- und Arbeitsplatzgestaltung für die stationäre manuelle Montage.
1993, gleichzeitig Dissertation Universität Karlsruhe.
- Band 4 **Englisch, Joachim:**
Systematische Entwicklung von Evaluationsverfahren zur Beurteilung der Benutzungsfreundlichkeit von CAD-Systemen.
1992, gleichzeitig Dissertation Universität Karlsruhe.
- Band 3 **Grobel, Thomas:**
Simulation der Organisation rechnerintegrierter Produktionssysteme.
1992, Forschungsbericht zu einem Projekt der Alfried Krupp von Bohlen und Halbach-Stiftung.
- Band 2 **Graf, Karl-Robert:**
Systematische Untersuchung von Einflussgrößen einer Fertigungssteuerung nach dem Zieh- und Schiebeprinzip.
1991, gleichzeitig Dissertation Universität Karlsruhe.
- Band 1 **Ernst, Wolfgang:**
Beitrag zur Planung der Personalstruktur im Fertigungsbereich.
1991, gleichzeitig Dissertation Universität Karlsruhe.

Vom selben Herausgeber im Shaker Verlag Aachen erschienen:
esim - European Series in Industrial Management (ISSN 1437-7675)

- Volume 6 **Zülch, Gert; Stowasser, Sascha; Jagdev, Harinder S. (eds.):**
Current Trends in Production Management.
2003, Proceedings of the IFIP WG 5.7 Working Conference on
Human Aspects in Production Management, Volume 2.
- Volume 5 **Zülch, Gert; Stowasser, Sascha; Jagdev, Harinder S. (eds.):**
Human Aspects in Production Management.
2003, Proceedings of the IFIP WG 5.7 Working Conference on
Human Aspects in Production Management, Volume 1.
- Volume 4 **Zülch, Gert; Cano, Juan Luis; Muller(-Malek), Henri (eds.):**
Production Management Simulation Games. 2001, report supported
by the European Leonardo da Vinci Programme. (ISBN 3-8265-
8529-1)
- Volume 3 **Zülch, Gert; Rinn, Andreas:**
Design and Application of Simulation Games in Industry and Ser-
vices. Proceedings of the 5th International Workshop on Games in
Production Management, 2000. (ISBN 3-8265-7388-9)
- Volume 2 **Muller(-Malek), Henri; Merkuyev, Yuri; Silinevicha, Irena;
Zülch, Gert (eds.):**
Cases in Industrial Logistics Management. 1999, report supported
by the European TEMPUS Programme. (ISBN 3-8265-6369-7)
- Volume 1 **Doumeingts, Guy; Panayiotou, Nikolaos; Rinn, Andreas; Tatsio-
poulos, Ilias; Villenave, Christophe; Zülch, Gert:**
A Methodology for Re-engineering and Information Technology
Implementation. 1999, report supported by the European ESPRIT
Programme. (ISBN 3-8265-4885-X)

Als Monographie im Shaker Verlag Aachen erschienen:

- Grabowski, Hans (Hrsg.):**
Rechnerunterstützte Produktentwicklung und -herstellung.
Aachen: Shaker Verlag, 2002.
(Berichte aus der Konstruktionstechnik)
- Zülch, Gert; Brinkmeier, Bernd (Hrsg.):**
Arbeitsschutz-Managementsysteme.
Aachen: Shaker Verlag, 2000.