

Lehrstuhl für
Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik
der Technischen Universität München

**Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter in die
variantenreiche Serienmontage**

Martin Georg Prasch

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Maschinenwesen der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Tim C. Lüth

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh
2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Barbara Deml,
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Die Dissertation wurde am 01.02.2010 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen am 30.06.2010 angenommen.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Abbildungsverzeichnis.....	VII
Tabellenverzeichnis.....	XV
Firmenverzeichnis	XVII
Abkürzungsverzeichnis.....	XIX
1 Einleitung, Zielsetzung und Vorgehensweise	1
1.1 Produktionsstandort Deutschland	1
1.2 Einfluss der demografischen Entwicklung	2
1.3 Potenziale und Herausforderungen für die Montage	4
1.4 Zielsetzung der Arbeit.....	5
1.5 Vorgehensweise	6
2 Planung und Gestaltung von Montagesystemen	9
2.1 Einordnung.....	9
2.2 Planungs- und Umsetzungsvorgehensweisen	11
2.3 Wirtschaftliche Montagesystemgestaltung	13
2.3.1 Produktstrukturierung.....	13
2.3.2 Arbeitsstrukturierung.....	14
2.3.3 Arbeitsgestaltung	15
2.3.4 Technikgestaltung.....	16
2.3.5 Weiterentwicklung der Montagesystemgestaltung.....	17
2.4 Ergonomische Montagesystemgestaltung.....	19
2.4.1 Begriff, Bedeutung und Arbeitsbereiche	19

2.4.2	Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept	20
2.4.3	Leistungsangebot des Menschen	22
2.4.4	Belastungen in der Montage.....	23
2.4.5	Aspekte der Anthropometrie und Physiologie	27
2.4.6	Systemergonomie und Arbeitspsychologie.....	29
2.4.7	Anwendungsvorgehen	30
3	Stand der Erkenntnisse	31
3.1	Physiologie und Psychologie des Alterns.....	31
3.2	Arbeitsfähigkeit und Leistungswandlung im Zusammenhang mit dem Alter	33
3.3	Entwicklung und Überblick.....	36
3.3.1	Anfänge in der Schwerindustrie	36
3.3.2	Übertragung und Weiterentwicklung im Verarbeitenden Gewerbe.....	37
3.3.3	Berücksichtigung der menschlichen Alterung in der Produktentwicklung.....	38
3.3.4	Erweiterung der Handlungsfelder und Wissenstransfer.....	39
3.4	Alter(n)sgerechte Arbeitsgestaltung und -organisation.....	40
3.5	Spezielle Maßnahmen zur Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter	46
3.5.1	Allgemeines.....	46
3.5.2	Profilvergleich mittels Anforderungs- und Belastbarkeits-Analyse (ABA).....	47
3.5.3	Work Ability Index (WAI).....	50
3.5.4	Disability Management	51

3.5.5	Weitergehende technische Maßnahmen	52
3.6	Zusammenfassung und Quantifizierung des Handlungsbedarfs.....	55
4	Ableitung von Gestaltungsvorgaben	59
4.1	Leistungsprofile älterer und leistungsgewandelter Mitarbeiter in der Montage.....	59
4.1.1	Allgemeines	59
4.1.2	Auswertung von Krankheitsdaten	60
4.1.3	Überprüfung und Diskussion.....	64
4.2	Anforderungsprofile von Montagearbeitsplätzen	65
4.2.1	Übersicht.....	65
4.2.2	Einzelplatz- und Inselmontage	66
4.2.3	Reihenmontage	68
4.2.4	Kombinierte Fließmontage	69
4.2.5	Taktstraßenmontage	70
4.2.6	Überprüfung und Diskussion	71
4.3	Abgleich von Anforderungs- und Leistungsprofilen	74
4.4	Zusammenfassung und allgemeine Vorgaben	78
5	Differenzierte Betrachtung technisch-struktureller Integrationsmaßnahmen	81
5.1	Einsatz von Handhabungshilfsmitteln	81
5.1.1	Ansatzpunkte und Restriktionen.....	81
5.1.2	Hemmnisse beim Einsatz von Manipulatoren für mittlere und geringe Bauteilmassen	86
5.1.3	Integrierte Manipulator- und Arbeitsplatzgestaltung	88

5.2	Haltungsoptimierung und -unterstützung	96
5.2.1	Ansatzpunkte und Restriktionen	96
5.2.2	Ganzheitliche Anpassung von Montagearbeitsplatzeinrichtungen	99
5.2.3	Stehhilfen in bewegten Montagesystemen.....	106
5.3	Flexibilisierung der Leistungserbringung.....	108
5.3.1	Ansatzpunkte und Restriktionen	108
5.3.2	Strukturelle Flexibilisierungs- und Individualisierungsmaßnahmen	110
5.3.3	Weitergehende strukturell-strategische Maßnahmen.....	112
6	Betriebliches Umsetzungsvorgehen.....	115
6.1	Organisatorische und systemtechnische Vorbedingungen	115
6.2	Konzeption und Auswahl der Hilfsmittel	116
6.3	Schrittweises Vorgehen zur Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter	118
6.3.1	Zielgerichtete Initiierung und Dokumentation weitergehender Integrationsmaßnahmen	118
6.3.2	Auswahl von Handhabungshilfsmitteln	121
6.3.3	Auswahl von Hilfsmitteln und Maßnahmen zur Haltungsunterstützung und -optimierung.....	123
6.3.4	Auswahl von Maßnahmen zur Flexibilisierung der Leistungserbringung.....	125
6.3.5	Prüfung, Realisierung und Weiterführung	127
7	Anwendung und Evaluierung.....	131
7.1	Ausgangssituation und Handlungsbedarf	131

7.2	Projektanstoß und zielgerichtete Initiierung technisch-struktureller Integrationsmaßnahmen	132
7.3	Einsatz von Manipulatoren bei mittelschweren Bauteilen.....	135
7.4	Anpassung der Bereitstellung zur Haltungsoptimierung und Integration sitzender Tätigkeiten.....	142
7.5	Integrationsförderliche weitergehende Systemveränderungen	144
7.6	Bewertung der Integrationslösungen für die Radträgermontage und Verallgemeinerung.....	147
8	Zusammenfassung und Ausblick.....	153
9	Literaturverzeichnis.....	155
10	Anhang	195
10.1	Anforderungs- und Belastbarkeits-Analyse (ABA).....	195
10.2	Befragungsbogen und Auswertevorgehen bei der Ermittlung des „Work Ability Index“ (WAI).....	198
10.3	Zahlenmaterial zu Krankheitsdaten und Fehlzeiten.....	201
10.4	Beispielarbeitsplatzbewertungen	204
10.5	Ermittlung der Risikozahl der Lastenhandhabung.....	206
10.6	Vollständige Integrations-Checklisten.....	208
10.7	Ergänzung und Dokumentation des Anwendungsbeispiels.....	220

Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1: Einflüsse auf produzierende Unternehmen in Deutschland und resultierende wirtschaftliche Herausforderungen nach SCHIRRMEISTER U. A. (2003) und LEGLER & GEHRKE (2005) 1
- Abbildung 2: Auswirkungen des demografischen Wandels in den Alterszusammensetzungen der Bevölkerung und der Unternehmen (Datenquellen: STATISTISCHES BUNDESAMT 2003, VDI / VDE / PROGNOSE 2000 ADENAUER 2002; vgl. auch GUSSONE U. A. 1999, S. 51 f.; BUCK & SCHLETZ 2004, S. 9)..... 3
- Abbildung 3: Überblick über die Struktur und die Inhalte der Arbeit..... 8
- Abbildung 4: Einteilung und Charakterisierung der Produktionsarten nach EVERSHEIM & SCHUH (1996, S. 9-66) und WARNECKE (1996, S. 5) 10
- Abbildung 5: Übersicht über die integrierte Produktentwicklung und Montageplanung nach EHRENSPIEL (2007) und GRUNWALD (2002)..... 13
- Abbildung 6: Mitarbeiterbeanspruchung in der Montage und relevante arbeitswissenschaftliche Disziplinen (vgl. ROHMERT U. A. 1971, HETTINGER U. A. 1980, SCHULTZ 1987, SCHMIDTKE 1993A, LANDAU & LUCZAK 2001)..... 21
- Abbildung 7: Einflussfaktoren auf den Leistungsbegriff der Ergonomie (SCHMIDTKE 1993B)..... 22
- Abbildung 8: Vergleich altersabhängiger und interindividueller Ausprägungen menschlicher Fähigkeiten bei Erwerbstätigen (Datenquellen: TÄUBERT & REIF 1997, SCHMIDTKE & RÜHMANN 1999, SCHMIDTKE & RÜHMANN 1992) 32
- Abbildung 9: Entwicklung von Krankenständen (hier: ärztlich attestierte und der Krankenkasse gemeldete Arbeitsunfähigkeit) verschiedener Berufsgruppen und Ursachen der Arbeitsunfähigkeit in Abhängigkeit vom Lebensalter (Datenquelle: VETTER 2003)... 35

Abbildung 10: Beispiele ergonomischer und altersadäquater Arbeitsplatzgestaltung in der Serienmontage (Bildquelle: MOHRLANG 2005).....	43
Abbildung 11: Vorgehensweise zur Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter mittels Profilvergleich (ZÄH U. A. 2004A, ADENAUER 2004)	49
Abbildung 12: Schematischer Aufbau eines handgeführten Manipulators in Deckenausführung nach HESSE U. A. (2001).....	53
Abbildung 13: Übersicht über Ausführungsformen gängiger manuell gesteuerter Bewegungseinrichtungen für die Stückgutproduktion nach HESSE & SCHMIDT (1998) und REINHART U. A. (2006) (Bildquellen: L. Meili GmbH, Demag Cranes AG, Strödter Handhabungstechnik GmbH, Schmidt Handling Gesellschaft für Handhabungstechnik mbH)	54
Abbildung 14: Entwicklung der mittleren Arbeitsfähigkeit einer über elf Jahre beobachteten repräsentativen Versuchsgruppe älterer Mitarbeiter nach ILMARINEN & TEMPEL (2002, S. 173) und Auftreten von Leistungswandlungen innerhalb verschiedener Altersgruppen nach eigener Auswertung auf Basis betriebsärztlicher Erfassungen in einem Automobilwerk (vgl. ZÄH & PRASCH 2006, MAGIN 2004)	55
Abbildung 15: Anteile älterer und leistungsgewandelter Mitarbeiter und Auswirkung auf die Beschäftigung und den Krankenstand, nach eigener Vorausberechnung für ein Automobilwerk (vgl. ZÄH & PRASCH 2006, MAGIN 2004, FRIELING 2007)	57
Abbildung 16: Verteilung der Arbeitsunfähigkeitsfälle und -tage sowie der Krankengeld- und Rehabilitationstage auf die ICD-Hauptgruppen	60
Abbildung 17: Häufigste Einzelbefunde nach Arbeitsunfähigkeitstagen und -fällen mit Bewertung des Risikos für anschließende zeitweise oder dauerhafte gesundheitliche Beeinträchtigungen.....	62
Abbildung 18: Gliederung der (Serien-)Montage und Zuordnung vorherrschender Montageorganisationsformen (vgl. SPUR &	

	HELWIG 1986, WARNECKE 1996, Eversheim & Schuh 1996, S.10-27 f.)	66
Abbildung 19:	Ausgewählte Arbeitsplatzbeispiele unterschiedlicher Montageorganisationsformen zur ergonomischen Überprüfung (Bildquellen: MAN Nutzfahrzeuge AG, Metabowerke GmbH, BMW Group)	72
Abbildung 20:	Potenzielle Integrationshemmnisse für leistungsgewandelte Mitarbeiter bei verschiedenen Montageorganisationsformen und Arbeitsplatzgestaltungen.....	76
Abbildung 21:	Beurteilung des Gesundheitsrisikos beim Handhaben von Lasten mittels Risikozahl nach PERNACK U. A. (2001).....	83
Abbildung 22:	Einsatz eines selbsttätigen mechanischen Greifers sowie eines Gelenkarmmanipulators in der kontinuierlich bewegten Fahrzeugendmontage (Bildquellen: BMW Group und Schmidt Handling Gesellschaft für Handhabungstechnik mbH).....	91
Abbildung 23:	Schematische Darstellung technischer Maßnahmen zur Akzeptanzsteigerung von Manipulatoren bei Handhabungsvorgängen von komplexen Bauteilen mit mittleren Massen und hoher Positioniergenauigkeit	94
Abbildung 24:	Relevanz von Montagesystemelementen für die Haltungsunterstützung und -optimierung (Datenquelle: DIN 33 402-2 (2005))	99
Abbildung 25:	Moderne Basis- und Verkettungseinrichtungen zur erweiterten Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter (Bildquelle: Zelenka Ergonomie).....	100
Abbildung 26:	Konzeption eines verketteten Modellarbeitsplatzes zur Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter	101
Abbildung 27:	Magazinierungskonzept zur ergonomischen und zeitsparenden Handhabung von Feinschneidteilen (Maße: 280 x 175 x 5 mm; Masse: 241 g).....	103

Abbildung 28: Durchgängiges integrationsförderliches Materialversorgungskonzept für die wirtschaftliche Elektrokleingerätemontage auf Basis der konsequenten Trennung von Logistik und Wertschöpfung (Bildquelle: Metabowerke GmbH)	104
Abbildung 29: Studie zur Konzeption und Bewertung eines Werkermitfahrsystems zur kontinuierlich bewegten Innenbeleuchtungs- und Seitenairbagmontage.....	108
Abbildung 30: Integrationspotenziale verschiedener Strukturveränderungen in Fließmontagesystemen	111
Abbildung 31: Einordnung der in Kapitel 5 entwickelten weitergehenden technisch-strukturellen Integrationsmaßnahmen in bestehende Ansätze im Umgang mit leistungsgewandelten Mitarbeitern .	115
Abbildung 32: Übersicht über das betriebliche Umsetzungsvorgehen zur zielgerichteten Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter .	117
Abbildung 33: Phase 1 des Vorgehens zur erweiterten Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter mittels technisch-struktureller Maßnahmen: Darstellung des Ablaufes zur zielgerichteten Einleitung von Integrationsmaßnahmen.....	120
Abbildung 34: Phase 2.1 des Vorgehens zur erweiterten Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter mittels technisch-struktureller Maßnahmen: Darstellung des Ablaufes zur Auswahl von Handhabungshilfsmitteln und Manipulatoren	122
Abbildung 35: Phase 2.2 des Vorgehens zur erweiterten Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter mittels technisch-struktureller Maßnahmen: Darstellung des Ablaufes für die Auswahl von Haltungsunterstützungs- und -optimierungsmaßnahmen	125
Abbildung 36: Phase 2.3 des Vorgehens zur erweiterten Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter mittels technisch-struktureller Maßnahmen: Darstellung des Ablaufes zur Umsetzung struktureller und organisatorischer Maßnahmen zur Flexibilisierung der Leistungserbringung.....	127

Abbildung 37: Phase 3 des Vorgehens zur erweiterten Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter mittels technisch-struktureller Maßnahmen: Darstellung des Ablaufes der Bewertung, Realisierung und Weiterführung.....	128
Abbildung 38: Strukturdarstellung des betrachteten Vormontagebereichs und der zugehörigen Arbeitsplätze und –stationen des Automobilherstellers.....	132
Abbildung 39: Gegenüberstellung von Arbeitsplatzbewertungen und Einsatzeinschränkungen leistungsgewandelter Mitarbeiter und Profilvergleich für die betrachteten Arbeitsplätze	134
Abbildung 40: Beschreibung der manuellen Handhabung bei der Bremsscheibenmontage in Teil 2.1 der Integrations-Checkliste	136
Abbildung 41: Prüfung beziehungsweise Optimierung des Handhabungshilfsmitelesinsatzes mittels Teil 2.1 der Integrations-Checkliste	138
Abbildung 42: Alternative Handhabungshilfsmittelkonzepte für eine integrationsförderliche Bremsscheibenmontage.....	139
Abbildung 43: Ergebnis des Handhabungshilfsmitelesatzes im gesamten Montagesystem	140
Abbildung 44: Ausschnitt aus Teil 2.2 der Integrations-Checkliste zur Auswahl von Maßnahmen zur Haltungsunterstützung und -optimierung	143
Abbildung 45: Konzept zur Zusammenfassung und anschließenden Duplizierung der Arbeitsvorgänge AVG090 und AVG100 des Praxisbeispiels.....	146
Abbildung 46: Ergonomiebewertung der optimierten Arbeitsplätze des Praxisbeispiels und resultierende zusätzliche Beschäftigungsmöglichkeit für leistungsgewandelte Mitarbeiter	148

Abbildung 47: Ergebnis der Nutzwert-Kosten-Analyse der technisch- strukturellen Optimierungs- und Integrationsmaßnahmen des Praxisbeispiels	149
Abbildung 48: ABATech Erfassungsbogen Teil 1 (ARBEITSKREIS ERGONOMIE 2002)	196
Abbildung 49: ABATech Erfassungsbogen Teil 2 (ARBEITSKREIS ERGONOMIE 2002)	197
Abbildung 50: WAI Erfassungsbogen Teil 1 (Quelle: WWW.ARBEITSFAEHIGKEIT.NET)	198
Abbildung 51: WAI Erfassungsbogen Teil 2 (Quelle: WWW.ARBEITSFAEHIGKEIT.NET)	199
Abbildung 52: WAI Erfassungsbogen Teil 3 (Quelle: WWW.ARBEITSFAEHIGKEIT.NET)	200
Abbildung 53: Datenbasis für die Krankenstandsquoten verschiedener Berufsgruppen in Abbildung 9 in Abhängigkeit vom Lebensalter im Jahr 2001 (siehe VETTER 2003, S. 250 und S 253)	201
Abbildung 54: Datenbasis für die Darstellung altersabhängiger Arbeitsunfähigkeitsursachen in Abbildung 9 in Abhängigkeit vom Lebensalter im Jahr 2001 (siehe VETTER 2003, S. 255)..	201
Abbildung 55: Abgleich mit den altersabhängigen Arbeitsunfähigkeitsursachen in Abhängigkeit vom Lebensalter im Jahr 2007 (siehe HEYDE U. A. 2009, S. 236)	201
Abbildung 56: Arbeitsunfähigkeitsursachen Versicherter der Allgemeinen Ortskrankenkassen (AOK) insgesamt und in ausgewählten Branchen im Jahr 2007 (siehe HEYDE U. A. 2009)	202
Abbildung 57: Arbeitsunfähigkeitsursachen Versicherter von Betriebskrankenkassen (BKK) insgesamt und in ausgewählten Branchen im Jahr 2007 (siehe ZOIKE U. A. 2009).....	202

Abbildung 58: Datenbasis für Abbildung 17 und Tabelle 4: Arbeitsunfähigkeitstage und -fälle zu den häufigsten Einzelbefunden jeweils umgerechnet auf 1.000 AOK- und BKK- Versicherte im Jahr 2007 (aus HEYDE U. A. 2009 und ZOIKE U. A. 2009)	202
Abbildung 59: Basisdaten für die Auswertungen von Krankheitsdaten und Fehlzeiten von AOK- und BKK-Versicherten (Quelle: HEYDE U. A. 2009 und ZOIKE U. A. 2009)	203
Abbildung 60: ABATech Bewertung der ausgewählten Beispielarbeitsplätze	204
Abbildung 61: IMBA Bewertung der ausgewählten Beispielarbeitsplätze	205
Abbildung 62: Teil 1 der Leitmerkmalsmethode zur quantitativen Beurteilung der Handhabung von Lasten (PERNACK U. A. 2001).....	206
Abbildung 63: Teil 2 der Leitmerkmalsmethode zur quantitativen Beurteilung der Handhabung von Lasten (PERNACK U. A. 2001).....	207
Abbildung 64: Detailanalyse für das ABATech-Kriterium „Stehen, Gehen, Sitzen“ für die Arbeitsplätze des Praxisbeispiels zum Stand der Studie	220
Abbildung 65: Attestierte Einschränkungen beim „Stehen, Gehen, Sitzen“ der betrachteten leistungsgewandelten Mitarbeiter zum Stand der Studie	220
Abbildung 65: Teil 1 der ausgefüllten Integrations-Checkliste für die Bremsscheibenmontage (in AVG090).....	221
Abbildung 66: Vorprüfung und -auswahl der grundlegenden Ausführung des Handhabungshilfsmittels in Teil 2.1 der Integrations-Checkliste für die Bremsscheibenmontage (in AVG090)	222
Abbildung 67: Prüfung der alternativen Lösungen mittels Teil 2.1 der Integrations-Checkliste für die Bremsscheibenmontage (in AVG090).....	223
Abbildung 68: Beschreibung des Ist-Zustandes ohne Haltungsoptimierung und -unterstützung mittels Teil 2.2 der Integrations-Checkliste am Beispiel der Bremsscheibenmontage (in AVG090)	224

Abbildung 69: Entwicklung der Haltungsoptimierung und -unterstützung mittels Teil 2.2 der Integrations-Checkliste am Beispiel der Bremsscheibenmontage (in AVG090).....	225
Abbildung 70: Überprüfung der Haltungsoptimierung und -unterstützung mittels Teil 2.2 der Integrations-Checkliste am Beispiel der Bremsscheibenmontage (in AVG090).....	226
Abbildung 71: Beschreibung des Ist-Zustands für eine Flexibilisierung der Leistungserbringung in Teil 2.3 der Integrations-Checkliste ..	227
Abbildung 72: Auswahl von Flexibilisierungsmaßnahmen mittels Teil 2.3 der Integrations-Checkliste	228
Abbildung 73: Überprüfung der Flexibilisierungsmaßnahmen mittels Teil 2.3 der Integrations-Checkliste	229
Abbildung 74: Abschließende Planung der Realisierung und Weiterführung der technisch-strukturellen Integrationsmaßnahmen mittels Teil 3 der Integrations-Checkliste für das betrachtete Montagesystem	230
Abbildung 75: Nutzwertanalyse der technisch-strukturellen Integrationsmaßnahmen für die Arbeitsplätze AVG090 und AVG100.....	231
Abbildung 76: Kostenabschätzung und resultierende Betriebskostenveränderung für die technisch-strukturellen Integrationsmaßnahmen an den Arbeitsplätzen AVG090 und AVG100.....	231

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Statistische Erfassung von Arbeitertätigkeiten während einer Schicht von acht Stunden in der Serienmontage nach Art und Umfang (Taktzeit zwischen 20 s und 7 min; Mittelwert 90 s) nach RALLY (1996) und FREIBOTH U. A. (1997).....	26
Tabelle 2:	Einordnung menschlicher Eigenschaften und Fähigkeiten entsprechend altersbedingter Veränderungen (vgl. BALTES U. A. 1994, BUCK U. A. 1996, TÄUBERT & REIF 1997, ÜPPING U. A. 1997, CRAIK & SALTHOUSE 2000, PACK U. A. 2000).....	33
Tabelle 3:	Vorschläge und Anhaltswerte zur präventiven und korrektiven Arbeitsgestaltung und Arbeitsplatzauslegung in Anlehnung an HELL U. A. (1985) sowie normativ verbindliche Vergleichswerte, soweit nicht anders angegeben nach VBMG (2005)	41
Tabelle 4:	Beanspruchungsrelevante Zusammenfassung und Beurteilung von Krankheiten für Montagemitarbeiter (zugrunde liegende Auswertung siehe Abbildung 58 im Anhang)	63
Tabelle 5:	Unternehmensweite Zuordnung der Einschränkungen von leistungsgewandelten Mitarbeitern zu den ABA-Profilvergleichskriterien (Datenquelle: MOHRLANG 2005) und übersichtsweiser Abgleich mit den Nennungen der Krankenstatistik	64
Tabelle 6:	Auftretenshäufigkeit potenziell integrationshemmender Belastungen in der variantenreichen Serienmontage (vgl. ZÄH & PRASCH 2006, MOHRLANG 2005)	74
Tabelle 7:	Erreichbare Aktionskräfte des Menschen beim Heben eines Stapelkastens in Abhängigkeit von der Fassung und der Aufnahmelage (SCHMIDTKE & RÜHMANN 1992)	81
Tabelle 8:	Restriktionen und Änderungsanforderungen teil- und vollautomatisierter Montage- und Handhabungssysteme gegenüber rein manuellen (vgl. BOOTHROYD U. A. 2002, HESSE U. A. 2001, LAY & SCHIRRMEISTER 2000)	84

Firmenverzeichnis

BMW Group	Bayerische Motoren Werke Aktiengesellschaft Firmensitz: Petuelring 130, D-80788 München www.bmw-group.com
Demag Cranes AG	Firmensitz: Forststraße 16, D-40597 Düsseldorf www.demagcranes-ag.de
L. Meili GmbH	Firmensitz: Moselstraße 38, D-63452 Hanau www.hebezone.de
MAN Nutzfahrzeuge AG	Firmensitz: Dachauer Straße 667, D-80995 München www.mn.man.de
Metabowerke GmbH	Firmensitz: Metabo-Allee 1, D-72622 Nürtingen www.metabo.com
Schmidt Handling Ge- sellschaft für Handha- bungstechnik mbH	Firmensitz: Riedstraße 39, D-71691 Freiberg a. N. www.schmidt-handling.de
Siemens Product Lifecycle Management Software Inc.	Siemens Aktiengesellschaft Firmensitz: Wittelsbacherplatz 2, D-80333 München www.plm.automation.siemens.com
Strödter Handhabungs- technik GmbH	Firmensitz: Gabelsbergerstraße 6, D-59069 Hamm www.stroedter.de
Zelenka Ergonomie	ZELENKA GmbH Firmensitz: Frühlingsstraße 21, D-82205 Gilching www.zelenka-ergonomie.de

Abkürzungsverzeichnis

3 D	dreidimensional
ABA	Anforderungs- und Belastbarkeitsanalyse
Anm.	Anmerkung
AOK	Allgemeine Ortskrankenkasse(n)
AU	Arbeitsunfähigkeit
Aufl.	Auflage
AVG	Arbeitsvorgang
BKK	Betriebskrankenkasse(n)
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMW	Bayrische Motoren Werke
Bsp.	Beispiel
bspw.	beispielsweise
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
°C	Grad Celsius (Maßeinheit für die Temperatur)
ca.	circa
CAD	Computer Aided Design
CAX	Computer Aided ... (Umfassende Bezeichnung für konstruktive Rechnerwerkzeuge)
CICRED	Committee for International Cooperation in National Research in Demography
cm	Zentimeter (Maßeinheit)
dB (A)	Dezibel (Messung mit Filter) (Maßeinheit)

d. h.	das heißt
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft
DIN	Deutsche Industrienorm
EBI	Ergonomie-Bewertungs-Index
EKIDES	Ergonomics Knowledge and Intelligent Design System
engl.	englisch
etc.	et cetera
EU	Europäische Union
e. V.	eingetragener Verein
evtl.	eventuell
f.	folgende
ff.	fortfolgende
ges.	gesamt
ggf.	gegebenenfalls
griech.	griechisch
GRP	Generation Research Program
Hrsg.	Herausgeber
ICD	International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems
i. d. R.	in der Regel
Inc.	Incorporation
inkl.	inklusive
IMBA	Integration von Menschen mit Behinderungen in die Arbeitswelt
i. O.	in Ordnung

japan.	japanisch
kJ	Kilojoule (Maßeinheit für die Energie)
KoMo	Kompetenz Montage
LASI	Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik
LGW	leistungsgewandelte(r) Mitarbeiter
MAK	maximal (zulässige) Arbeitsplatzkonzentration (von gefährdenden und gefährlichen Stoffen)
MAMOS	marktorientierte Montagestrukturen
min	Minute (Maßeinheit)
Mio.	Million
mm	Millimeter (Maßeinheit)
mm ³	Kubikmillimeter (Maßeinheit)
Mrd.	Milliarde(n)
N	Newton (Maßeinheit)
NIOSH	National Institute of Occupational Safety and Health
Nr.	Nummer
OECD	Organisation for Economic Cooperation and Development
OEM	Original Equipment Manufacturer
OWAS	Ovako Working Posture Analysing System
p. a.	per annum
PC	Personal Computer
PKW	Personenkraftwagen
REFA	REFA – Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e.V.
REHA	(medizinische) Rehabilitation

RKZ	Risikozahl
s	Sekunde (Maßeinheit)
S.	Seite
SE	Systems Engineering
SENTHA	seniorengerechte Technik im häuslichen Alltag
Stk.	Stück
u. a.	und andere
UNHCO	United Healthcare Organization
usw.	und so weiter
u. U.	unter Umständen
u. v. m.	und viele(s) mehr
Var.	Variante
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e.V.
Verf.	Verfasser
vgl.	vergleiche
WAI	Working Ability Index
z. B.	zum Beispiel
z. T.	zum Teil
zzgl.	zuzüglich

1 Einleitung, Zielsetzung und Vorgehensweise

1.1 Produktionsstandort Deutschland

Die Diskussion um die Zukunftsfähigkeit des Produktionsstandortes begleitet Deutschland seit geraumer Zeit, wie die unzähligen Kongresse und Zeitschriftenartikel zum Thema zeigen (REINHART & ZÄH 2006, WILK 2006, MENTGEN 2006, HOFFMANN U. A. 2006, ZÄH 2005, MILBERG 1996). Die beispiellose Finanz- und Wirtschaftskrise seit Ende 2008 schürt die Diskussion erneut (KNÜPFER 2009a). Die Herausforderungen sind unverändert: Ein stetig beschleunigender technologischer Wandel und gesellschaftliche Veränderungen stellen generelle Herausforderungen für die Industrie dar. Der Wettbewerb und die Konkurrenzsituation haben sich nach der Öffnung der Märkte im Zuge der Globalisierung speziell für die produzierenden Unternehmen erheblich verschärft. Hinzu kommen in Deutschland historisch gewachsene hohe Lohn- und Lohnnebenkosten, die aufgrund der demografischen Entwicklung weiter ansteigen werden (siehe Abschnitt 1.2). Abbildung 1 zeigt das Spannungsfeld auf, in dem die Produktion in Deutschland steht, und demonstriert, welche Herausforderungen darin erwachsen.

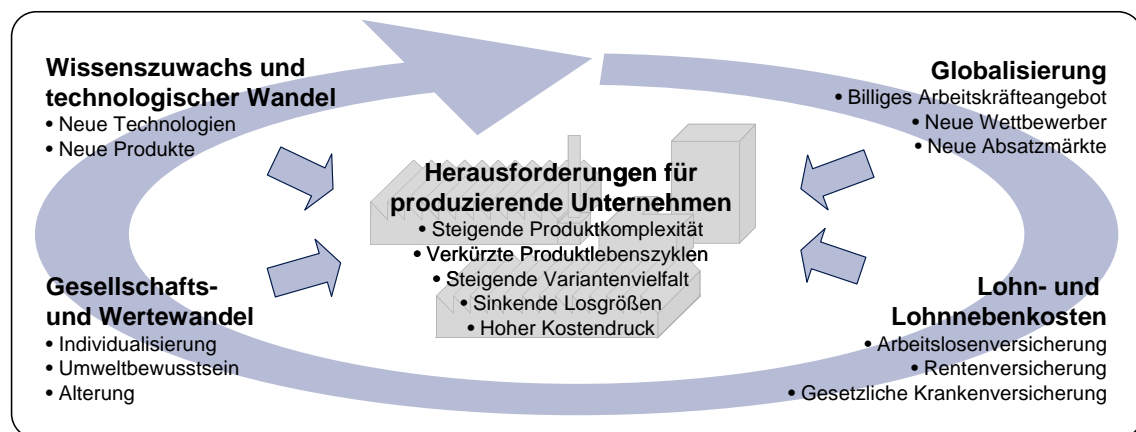


Abbildung 1: Einflüsse auf produzierende Unternehmen in Deutschland und resultierende wirtschaftliche Herausforderungen nach SCHIRRMEISTER U. A. (2003) und LEGLER & GEHRKE (2005)

Die genaue Benennung und die Anzahl der Einflüsse oder Treiber variieren mitunter zwischen verschiedenen Studien und Autoren. Die Antworten, wie den Herausforderungen für produzierende Unternehmen an Hochlohnstandorten zu begegnen sei, formen ein zunehmend konkretes Bild. SCHIRRMEISTER U. A. (2003, S. 72) fassen dieses in einer breit angelegten Zukunftsstudie über die Pro-

duktion in Deutschland wie folgt zusammen: „[Es gilt schnellstmöglich unter optimaler Nutzung des menschlichen Kapitals und weltweiter Kooperationen] mit technologisch führenden Produkten und einer flexiblen und leistungsfähigen Produktion kundenspezifische Produkte höchster Qualität herstellen zu können.“ (vgl. KNÜPFER 2009A, ZÄH U. A. 2006A, LINDEMANN U. A. 2006, BREUN 2006, LEGLER & GEHRKE 2005, REINHART & ZÄH 2005, SCHARIOTH U. A. 2004, PILLER 1998, PINE 1993).

1.2 Einfluss der demografischen Entwicklung

Eine hohe Lebenserwartung in Kombination mit einer niedrigen Geburtenrate führt in Deutschland ebenso wie in anderen industrialisierten Nationen zu einer Alterung der Bevölkerung (UNITED NATIONS 2005, HÖPFLINGER 1997). Diese Entwicklung wird als *demografischer Wandel* oder *demografischer Übergang* bezeichnet. Allgemein beschreiben diese Begrifflichkeiten wertneutral Veränderungen der Alterszusammensetzung einer Gesellschaft, beispielsweise durch Kriege, Naturkatastrophen, wirtschaftliche Veränderungen oder staatliche Eingriffe (PACK U. A. 2000, S. 8). Erste Theorien dazu von Thompson und Notestein entstanden Anfang des 20. Jahrhunderts und zeichneten lediglich die Veränderungen der Bevölkerungen aufgrund der von England ausgehenden Industrialisierung nach. Neuere Theorien bestätigen im Wesentlichen die Erkenntnis, dass am Ende der Industrialisierung Veränderungen in der Bevölkerungsstruktur stehen. Die Ursachen sind in erster Linie reduzierte Fertilitäts- und Mortalitätsraten. Die Alterssicherung über eigene Kinder wird bei erhöhtem gesamtwirtschaftlichem und privatem Wohlstand in Folge der Industrialisierung durch kapitalbasierte und staatliche umlagefinanzierte Sicherungssysteme abgelöst. In Kombination mit dem medizinischen Fortschritt steigern die verbesserten sozialen und hygienischen Lebensverhältnisse die Lebenserwartung. Darüber hinaus gibt es eine Vielzahl weiterer Faktoren wie Wohlstand, Umweltbelastung, Politik, soziale Einstellung u. v. m., die auf die Gesellschaft, die Individuen und damit die Alterszusammensetzung wirken und „sich einer einfachen, linearen Kausalanalyse zumeist entziehen“ (HÖPFLINGER 1997, S.12; VESTER 2002).

Sofern keine extreme Veränderung beziehungsweise Verstärkung der Migration von Entwicklungsländern in Industrieländer erfolgt, führt in einer stabilen Volkswirtschaft eine Alterung der Bevölkerung auch zu alternden Firmenbelegschaften (BUCK U. A. 2002, S. 13). Zum einen stehen im Verhältnis zur Gesamt-

bevölkerung weniger junge Arbeitskräfte zur Verfügung, zum anderen werden sich langfristig die Lebensarbeitszeit und das Renteneintrittsalter erhöhen, um die steigenden Rentenbezüge und Gesundheitsaufwendungen einer alternden Bevölkerung zu finanzieren (PACK U. A. 2000).

Der Personalabbau im Rahmen von Rationalisierungs- und Einsparmaßnahmen, getrieben durch den globalen Kostendruck und wirtschaftliche Rezessionsphasen, hat in Deutschland bereits zu einer deutlich erkennbaren Alterung der Firmenbelegschaften geführt (HERRMANN 2008, MOHRLANG 2005, KNÜLLE 2005, HEß 2004, WEBER 2004). So wurden ausscheidende ältere Mitarbeiter¹ häufig nicht mehr durch junge ersetzt. Außerdem konnte jungen Arbeitskräften aufgrund gesetzlicher und tariflicher Regelungen einfacher gekündigt werden als älteren (REIF & BUCK 2003, S. 14). Eine länger anhaltende negative wirtschaftliche Entwicklung reduziert durch aufkommende Zukunftsängste die Geburtenraten zusätzlich und verstärkt den Alterungsprozess (MERTGEN 2009, STATISTISCHES BUNDESAMT 2009). Abbildung 2 zeigt die bereits erfolgten Veränderungen in der Alterszusammensetzung der erwerbsfähigen Bevölkerung Deutschlands und in den Belegschaften deutscher produzierender Unternehmen und stellt darauf aufbauend eine Vorausberechnung für das Jahr 2010 vor.

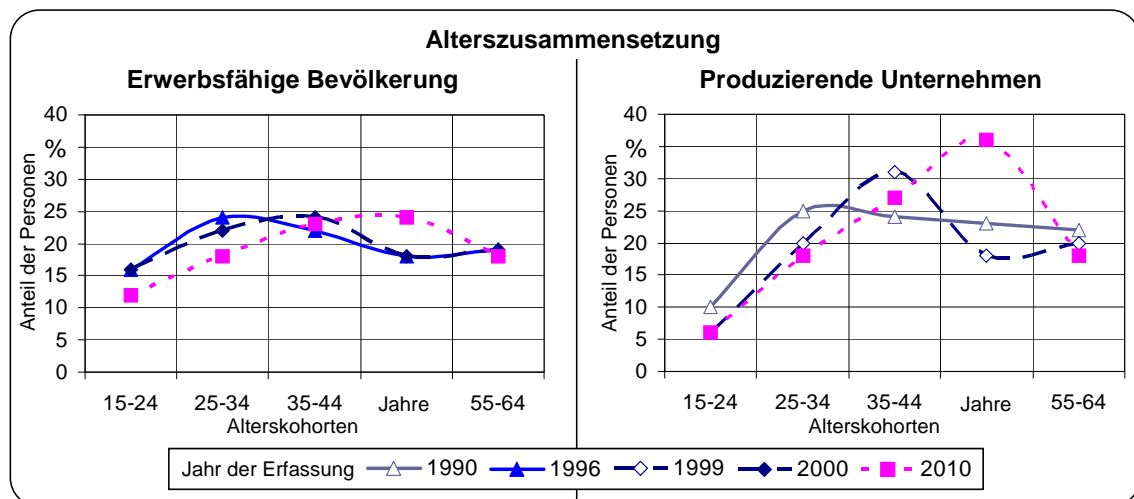


Abbildung 2: Auswirkungen des demografischen Wandels in den Alterszusammensetzungen der Bevölkerung und der Unternehmen (Datenquellen: STATISTISCHES BUNDESAMT 2003, VDI/VDE/PROGNOS 2000 ADENAUER 2002; vgl. auch GUSSONE U. A. 1999, S. 51 f.; BUCK & SCHLETZ 2004, S. 9)

¹ Die männliche Form steht im Folgenden zur besseren Lesbarkeit stets für beide Geschlechter.

Daraus ergeben sich für den Produktionsstandort Deutschland folgende zusätzliche Herausforderungen gegenüber aufstrebenden Industrieländern:

- Die demografische Entwicklung wird vor allem in der Übergangszeit von einer pyramidalen hin zu einer gleichförmigen Bevölkerungszusammensetzung die Lohnnebenkosten weiter erhöhen (STATISTISCHES BUNDESAMT 2007).
- Steigende Anforderungen an die Produkte und die Produktion müssen zumindest mittelfristig mit alternden Belegschaften und damit vermehrt mit älteren Arbeitnehmern (im Folgenden: in der zweiten Hälfte des Berufslebens stehend, d. h. in der Regel ab 45 Jahre alt, nach BUCK & DWORSCHAK (2003) sowie STATISTISCHES BUNDESAMT (2003)) bewältigt werden.

1.3 Potenziale und Herausforderungen für die Montage

Die Montage als letztes Glied der Wertschöpfung und nach wie vor mitarbeiterintensivster Bereich der Produktion (REINHART & SCHNEIDER 1996, LOTTER U. A. 1998, REINHART U. A. 2008) wird sowohl von den wirtschaftlichen Herausforderungen als auch von den Folgen des demografischen Wandels am stärksten getroffen. Hier gilt es, aus den im Rahmen der vorgelagerten Fertigung erstellten Bauteilen und Baugruppen durch Montageoperationen (= Fügen, Handhaben und weitere Hilfs- und Sondertätigkeiten) zunehmend komplexe Produkte herzustellen (DIN 8580 (2003), DIN 8593-0 (1985), REINHART & SCHNEIDER 1996). Dabei sind mitunter extrem unterschiedliche (Füge-)Technologien und Mitarbeiterkompetenzen seitens Werker, Qualitätsmanager, Steuerungstechniker bis hin zum Softwarespezialisten zu bündeln und zu integrieren (SPUR & STÖFERLE 1986, LOTTER U. A. 1998). Die zunehmende technische und organisatorisch-logistische Komplexität in Verbindung mit steigendem Zeitdruck schafft andererseits im gegenwärtigen Marktumfeld speziell an Hochlohnstandorten mit hohem Qualifikationsniveau wie Deutschland (siehe Abschnitt 1.1) neue Potenziale für eine markt- und kundenorientierte variantenreiche Serienmontage, wenn die Potenziale des Menschen optimal genutzt werden (SCHWAB 2009, REINHART & ZÄH 2006, MENTGEN 2006, BREUN 2006, ZÄH 2005, SPATH U. A. 2005, PRASCH 2004, SPATH U. A. 2004, WIRTH U. A. 2003, MILBERG 2000, LOTTER U. A. 1998).

Die Aufgabe des Mitarbeiters in der Serienmontage umfasst vorrangig die Ausführung vorbestimmter Tätigkeiten mit eindeutig überwiegendem physischem Leistungsanteil (LOTTER U. A. 1998, HESSE 2002, ZÄH U. A. 2005A, HÄRTWIG

2005). Die physischen Fähigkeiten des Menschen unterliegen jedoch vielfältigen Veränderungen und Wandlungen während des Alterungsprozesses. Mit steigendem Lebensalter erhöht sich die Wahrscheinlichkeit für den Eintritt von bleibenden Schäden oder Beeinträchtigungen aus Krankheiten, Unfällen, kumulierten Belastungen oder einfach ungesunden Lebensgewohnheiten (eine ausführliche Betrachtung befindet sich in Kapitel 3). Der Anteil so genannter *leistungsgewandelter Mitarbeiter*, die aufgrund körperlicher, geistiger oder psychischer Beeinträchtigungen die Arbeitsanforderungen nicht mehr in vollem Umfang erfüllen können, steigt mit erhöhtem Durchschnittsalter der Belegschaft signifikant an (MOHRLANG 2005, KNÜLLE 2005). Damit gewinnt die demografische Entwicklung für die Produktion vor allem im Bereich der manuell geprägten Serienmontage an Bedeutung (REINHART U. A. 2008, ZÄH U. A. 2005A, NYHUIS 2005, ZÄH U. A. 2003, REIF & BUCK 2003, ZÄH U. A. 2002, LOTTER U. A. 1998, BUCK 1996).

Obwohl die *demografische Herausforderung* auch den Verantwortlichen im Bereich der Produktion bekannt ist, wurde vielfach nicht reagiert (RATHGEB 2005, KNÜPFER 2009b). Dies belegt die deutliche Zunahme der leistungsgewandelten Mitarbeiter, die bereits jetzt in vielen Betrieben nicht mehr gewinnbringend eingesetzt werden können (ZÄH & PRASCH 2006, LIXENFELD 2006, LOEBE & SEVERING 2005). Dabei ist der Anteil älterer Mitarbeiter gemessen an den Prognosen für die nächsten Jahre noch relativ gering (siehe Abbildung 2). Die Konsequenz fasst die OECD wie folgt zusammen: „[...] und um den Herausforderungen der demographischen Alterung zu begegnen, müssen mehr und bessere Arbeitsplätze geschaffen werden“ (MARTIN 2004, S. 2; ROTHKIRCH 2000, CREUTZBURG 2006)

1.4 Zielsetzung der Arbeit

Diese Arbeit zeigt die Zusammenhänge von Alter und Arbeitsfähigkeit in produzierenden Unternehmen und insbesondere in der Montage vor dem Hintergrund der gegenwärtigen wirtschaftlichen Herausforderungen am Hochlohnstandort Deutschland auf, um daraus Lösungen für die industrielle Praxis zu entwickeln. Der Fokus liegt entsprechend den dargestellten Herausforderungen auf der Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter (die ausführliche Definition folgt in Abschnitt 3.2) in die variantenreiche Serienmontage. Das Ziel ist, eine gleichzeitige Ergonomie- und Effizienzsteigerung durch die verstärkte Integration älterer beeinträchtigter Mitarbeiter zu erreichen. Dazu sind neue technische Möglichkeiten

aus dem Bereich der wandlungsfähigen und flexiblen Montagesystemtechnik auf die Fähigkeit zur Ergonomiesteigerung und auf ihre integrationsförderliche Wirkung hin zu bewerten und in Form von Einsatzempfehlungen in bestehende Handlungsfelder einzuordnen. Zur Sicherung der praktischen Verwertbarkeit und der späteren Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen wird im Umsetzungsvorgehen der klassische Top-Down-Ansatz um eine Bottom-Up-Komponente ergänzt. Für die zu erarbeitenden Veränderungsvorschläge sind explizit die individuellen Voraussetzungen von Mitarbeitern an ihren spezifischen Montagearbeitsplätzen in ihrer statistischen Ausprägung zu betrachten. Nur damit kann das Potenzial aller Mitarbeiter optimal, d. h. schnell und wirtschaftlich, genutzt und ein maximaler Beitrag zum Unternehmenserfolg geleistet werden.

1.5 Vorgehensweise

Zur Erreichung der Zielsetzung wird aufbauend auf der Schwerpunktsetzung gemäß der Abschnitte 1.1 bis 1.3 in Kapitel 2 zunächst die marktnahe variantenreiche Serienmontage näher spezifiziert. Die Darstellung der Grundlagen zur Planung und Gestaltung von Montagesystemen in Kapitel 2 erfolgt vor dem Hintergrund der teilweise konkurrierenden Zielrichtungen *Wirtschaftlichkeit* und *Ergonomie*.

Kapitel 3 zeigt mit dem Stand der Erkenntnisse zur alter(n)sgerechten Arbeitsgestaltung und -organisation ausgehend vom menschlichen Alterungsprozess bestehende Möglichkeiten und Vorgehensweisen zur Beschäftigung älterer und leistungsgewandelter Mitarbeiter in der Produktion. Abschließend wird der Handlungsbedarf für die Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter in die variantenreiche Serienmontage zusammengefasst und quantifiziert.

In Kapitel 4 werden basierend auf dem Abgleich zwischen den Anforderungen der variantenreichen Serienmontage und den menschlichen Leistungsprofilen älterer und leistungsgewandelter Mitarbeiter qualitativ und quantitativ Ansatzpunkte für erweiterte Integrationsmaßnahmen identifiziert. Die Ergebnisse verschiedener betrieblicher, betriebsnaher und staatlicher Quellen werden dabei um eigene Erhebungen speziell für die variantenreiche Serienmontage ergänzt und zu Gestaltungsvorgaben verdichtet.

Vor diesem Hintergrund werden in Kapitel 5 anhand der Gestaltungsvorgaben technische und strukturelle Integrationsmaßnahmen für die Handlungsschwer-

punkte *Lastreduzierung, Haltungsoptimierung und -unterstützung* sowie *Leistungsflexibilisierung* differenziert betrachtet und weiterentwickelt.

In Kapitel 6 werden notwendige Schritte für eine effiziente Implementierung der Fülle an bestehenden und neuen Integrationsmaßnahmen definiert und in ein betriebliches Umsetzungsvorgehen auf der Basis von Checklisten integriert. Vorab werden organisatorische und systemtechnische Voraussetzungen diskutiert.

Die Evaluierung der Maßnahmen und des Umsetzungsvorgehens wird anhand eines Praxisbeispiels in Kapitel 7 durchgeführt. Den Abschluss der Arbeit bildet Kapitel 8 mit einer Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse und Erkenntnisse sowie einem Ausblick auf zukünftige Forschungsthemen. Abbildung 3 gibt eine Übersicht über die vorgestellte Vorgehensweise.

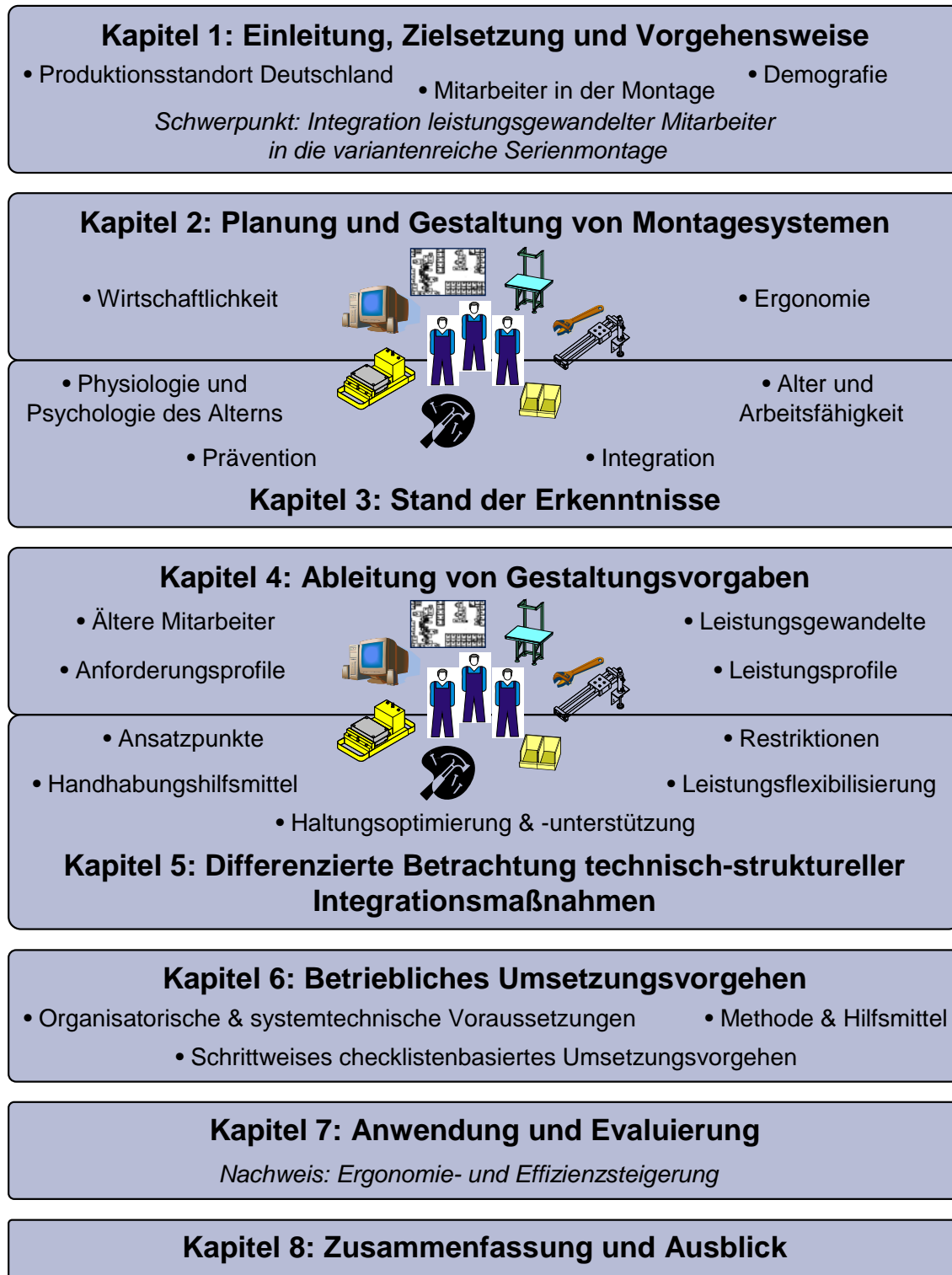


Abbildung 3: Überblick über die Struktur und die Inhalte der Arbeit

2 Planung und Gestaltung von Montagesystemen

2.1 Einordnung

Grundsätzlich lässt sich die Produktion entsprechend der zu fertigenden bzw. zu montierenden Stückzahl in Einzel-, Serien- und Massenproduktion unterteilen (siehe Abbildung 4). Bei der Einzelproduktion kann weiter unterschieden werden in Einmal- oder Wiederholproduktion. Entweder wird ein Werkstück bzw. Produkt tatsächlich nur einmal hergestellt oder in größeren, unregelmäßigen Abständen in einer vorab nicht bekannten Stückzahl. Treiber dieser beiden Produktionsarten ist in der Regel der Kunde, der für einen ganz bestimmten Zweck ein Erzeugnis benötigt und zumeist den Herstellungsaufwand direkt bezahlt. Im Gegensatz dazu zielt die Massenproduktion, als Urform der industriellen Fertigung, ganz klar auf die Erstellung eines einzigen definierten Produktes in hoher Stückzahl mit vorab festgelegten Betriebsmitteln ab. Unter dem Begriff Betriebsmittel werden nach der zurückgezogenen Richtlinie VDI 2815 (1978) alle zur betrieblichen Leistungserstellung notwendigen Anlagen, Geräte und Einrichtungen inklusive der Betriebsstoffe subsumiert. Eine Steigerung der Produktionsstückzahl reduziert die Stückkosten, da die Gesamtkosten der Produktion (in der Regel durch die Investition in Betriebsmittel dominiert) auf eine größere Anzahl an Einzelerzeugnissen umgelegt werden können (vgl. „economies of scale“; GUTENBERG 1990, S. 57 ff.). Dabei wird ein hoher Automatisierungsgrad angestrebt, um den Anteil variabler, zur Stückzahl direkt proportionaler Kosten, in erster Linie die manuelle Montagezeit pro Erzeugnis, zu minimieren.

Der Bereich zwischen Einzel- und Massenproduktion wird der Serienproduktion zugeordnet und kann anhand der Stückzahl weiter untergliedert werden, wobei die Angaben hierzu eher qualitativen Charakter haben. In der Regel entsteht ein Erzeugnis aus einer Vielzahl von Teilen und Baugruppen unterschiedlicher Herkunft, welche wiederum in mehreren Stufen mit verschiedenen Produktionsarten erstellt werden. Die steigende Komplexität und die Vielfältigkeit der Ausführungen moderner Produkte machen es zudem schwer, eine klare Trennung zwischen Produkt und Variante zu ziehen und verhindern damit auch eine klare Zuordnung von Stückzahlen. Abbildung 4 ordnet die verschiedenen Arten der Produktion ein und belegt diese mit Beispielen und Erkennungsmerkmalen.

Produktionsart					
Einzelproduktion		Serienproduktion			Massenproduktion
Einmalproduktion	Wiederholproduktion	Kleine Serien	Mittlere Serien	Große Serien	
Bsp. Prototypen- und Anlagenbau		Bsp. Flugzeugbau	Bsp. Zweiradproduktion	Bsp. Automobilbau	Bsp. Schraubenherstellung
<ul style="list-style-type: none"> • Erzeugnisse werden nur einmal hergestellt • Auftragsproduktion, d. h. Fertigung (nur) nach Kundenwunsch mit eher unspezifischen Anlagen • Hoher Kosten- und Zeitaufwand für Vorbereitung, Projektierung und Konstruktion 		<ul style="list-style-type: none"> • Begrenzte Stückzahl • Bildung von Fertigungslosen • Modular strukturierte Produkte • Häufig große Bandbreite an standardisierten Bauteilen und Baugruppen • Auftragsproduktion durch kundenspezifische Kombination der Baugruppen in der Montage • Bei komplexen Produkten zum Teil extrem hohe theoretisch mögliche Variantenvielfalt • Hoher Steuerungs- und Logistikaufwand 			<ul style="list-style-type: none"> • Große Stückzahlen • Anpassung an Kundenwünsche nur im Rahmen geplanter Erzeugnistypen • Häufige Prozesswiederholung mit hohem Automatisierungsgrad • Sehr hoher einmaliger Aufwand, i. d. R. für die Anlagenbeschaffung
		10 ... 100 Stk.	1000 ... 100000 Stk.		

Abbildung 4: Einteilung und Charakterisierung der Produktionsarten nach EVERSHEIM & SCHUH (1996, S. 9-66) und WARNECKE (1996, S. 5)

Die Darstellung in Abbildung 4 zeigt, dass bei der Serienproduktion der Montage eine besondere Bedeutung zukommt. Durch die mehrstufige Zusammenführung von Bauteilen und Baugruppen können technologisch komplexe Erzeugnisse nach Spezifikation des Kunden erstellt werden. Die Summe der dabei auszuführenden Tätigkeiten (= Montageoperationen zzgl. Steuerungs-, Planungs- und Logistikvorgänge) wird im Rahmen der Produktionstechnik dem Montagesystem zugeordnet (SPUR & HELWIG 1986, S. 593). Als System wird allgemein eine „in einem betrachteten Zusammenhang gegebene Anordnung von Gebilden (Elementen), die miteinander in Beziehung stehen“ definiert (DIN 19226-1 (1994)). Die Elemente des Montagesystems, in denen die Montageinhalte ausgeführt werden, sind automatisierte *Arbeitsstationen* oder manuelle *Arbeitsplätze*, die energie-, materialfluss- und informationstechnisch miteinander verknüpft sind (REFA 1990, S. 15; C.I.R.P. 2004).

In der Regel handelt es sich bei der variantenreichen Serienmontage um hybride Montagesysteme mit manuellen und automatisierten Inhalten (LOTTER U. A. 1998, S. 103). Der Einsatz von Mitarbeitern wird notwendig, wenn eine komplette Automatisierung aller Montageoperationen für alle geplanten und prognostizierten Varianten technisch nicht machbar oder nicht wirtschaftlich ist, d. h. die Erlöse zur Deckung der Investitions- und Betriebskosten im vorgegebenen Zeitraum nicht ausreichen (SPUR & STÖFERLE 1986, LOTTER U. A. 1998, HESSE 2002,

GUTENBERG 1990, S 57 ff.). Gerade bei starker Kundenorientierung sinken die Gleichteilrate und die Wiederholung von Tätigkeiten in der Montage erheblich und schließen somit eine Vollautomatisierung weitgehend aus (SPATH U. A. 2004). Das Tätigkeitsspektrum der Monteure umfasst neben dispositiven Aufgaben vorwiegend Handhabungsoperationen (vgl. VDI-RICHTLINIE 2860 (1990)) zum Positionieren und Orientieren, beispielsweise der spezifischen und zumeist geometrisch komplexen Baugruppen. Die dafür notwendige schnelle Verarbeitung unterschiedlichster Informationen und die geregelte Ausführung von Tätigkeiten ist eine besondere Fähigkeit des Menschen. Das heißt, der Mensch kann mit seiner Wahrnehmung verschieden geartete Abweichungen, die beispielsweise aus Bauteil- und Lagetoleranzen oder Maschinenfehlern resultieren, auch in variablen Prozessen schnell und selbstständig kompensieren (LOTTER U. A. 1998, HESSE 2002, HÄRTWIG 2005, S. 134). Aufgrund der vielfältigen Einflussfaktoren gerade bei der Gestaltung variantenreicher Serienmontagesysteme (siehe Abschnitt 1.3) kommt dem strukturierten Vorgehen bei der Planung große Bedeutung zu.

2.2 Planungs- und Umsetzungsvorgehensweisen

Für die Planung und Realisierung von Produktionssystemen existieren diverse Vorgehensbeschreibungen in der Literatur. REFA (1990) schlägt dazu in Anlehnung an BULLINGER (1986) und HABERFELLNER U. A. (1992) ein „6-Stufen-Modell“ vor. Schritt für Schritt wird zuerst die *Ausgangssituation analysiert*, im Sinne des Projektmanagements das Projektteam definiert sowie die *Ziel- und Aufgabenstellung konkretisiert* und unter den Planungsmitarbeitern verteilt. Anschließend erfolgt eine Grob- und Feinplanung. Im Rahmen *der Grobplanungs- oder der Konzeptionsphase* werden die Randbedingungen weitgehend außer Acht gelassen, um die Kreativität nicht einzuengen und einen möglichst großen Lösungsraum aufzuspannen. Die Selektion der Prinziplösungen und deren Anpassung an die konkreten Anforderungen beispielsweise des Aufstellungsortes erfolgt anschließend in der *Feinplanung*. Gegebenenfalls sind dabei iterativ Rückschritte vorzunehmen, wenn die Prinziplösungen nicht mit den realen Gegebenheiten, wie z. B. der Hallenarchitektur, in Einklang gebracht werden können. Daran knüpfen die *Beschaffung und der Anlagenaufbau* an, die im *Betrieb* des Produktionssystems münden.

Im Falle einer externen Beschaffung des technischen Systems wird der Liefer- und Leistungsumfang in einem Lastenheft näher spezifiziert. Wenn ein Lieferant für den Gesamtumfang gesucht wird, kann dies auch Teile der (Fein-)Planung beinhalten. Die Umsetzung der Anforderungen skizziert der Lieferant in einem Pflichtenheft.

Der Vorteil dieses *Top-Down-Vorgehens* (vom Groben zum Feinen) liegt in der Reduzierung der Komplexität für den Planer und der Unterstützung zur Suche eines Gesamtoptimums auf höherer Ebene, welches Detailoptimierungen nicht mehr erreichen können. Außerdem können einzelne Schritte einfach herausgelöst und von Dienstleistern bearbeitet werden. Die Idee basiert auf den Grundlagen des *Systems Engineering* (HABERFELLNER U. A. 1992). Das beschriebene Stufenmodell wurde in weiten Teilen auch in die VDI 2221 (1993) als Methodik zum Entwickeln und Konstruieren sowohl von Produkten als auch von technischen (Produktions- oder Montage-)Systemen übernommen.

Die Besonderheit der Montagesystemplanung liegt nach HESSE (2002, S. 216) in der Überführung der Produktstruktur aus Stücklisten und Konstruktionszeichnungen in eine Prozess- und Anlagenstruktur. Darauf folgt die Auswahl von Fügeverfahren und -werkzeugen für die einzelnen in der Konstruktion festgelegten Fügeverbindungen sowie die Anpassung der Bereitstellungs- und Handhabungstechnik an den Fügeprozess und die Bauteilgestaltung (KONOLD & REGER 2003, S. 7).

Die sequentielle Entwicklung von Produkt und Produktionssystem wurde zunehmend durch ein integriertes Vorgehen im Sinne des *Cooperative Engineering* ersetzt (EHRENSPIEL 2007, BULLINGER & WARSCHAT 1996, WESTKÄMPER U. A. 2001, GRUNWALD 2002). Dieser Ansatz nimmt bereits bei der Produktgestaltung auf spätere Belange der Produktion Rücksicht, um Fehler und Verschwendung zu vermeiden und die Wirtschaftlichkeit zu steigern (BOOTHROYD U. A. 2002). Das Prinzip „vom Groben zum Feinen“ wird beibehalten, aber die jeweiligen Planungsbereiche von Produkt und Produktion (Fertigung und Montage) werden immer gemeinsam betrachtet. Zur Beherrschung des erweiterten Aufgabenumfanges je Schritt ist eine enge Zusammenarbeit aller beteiligten Unternehmensbereiche in den Planungsteams erforderlich. Darüber hinaus haben sich eine Reihe weiterer Planungsvorgehensweisen mit teilweise sehr speziellem Fokus, beispielsweise auf Kosten, Qualität, Automatisierbarkeit, Personalorientierung u. v. m., etabliert (WILLNECKER 2000, S. 25 f.). Die meisten Planungsschritte werden inzwischen auch umfassend von Softwaresystemen unterstützt (vgl.

FELDMANN 1997, ROßGODERER 2002). Abbildung 5 gibt einen Überblick über die Aufgaben und Inhalte der integrierten Produkt- und Produktionsplanung. Für eine umfassende Übersicht sei auf SLAMA (2004, S. 31 f.) verwiesen.

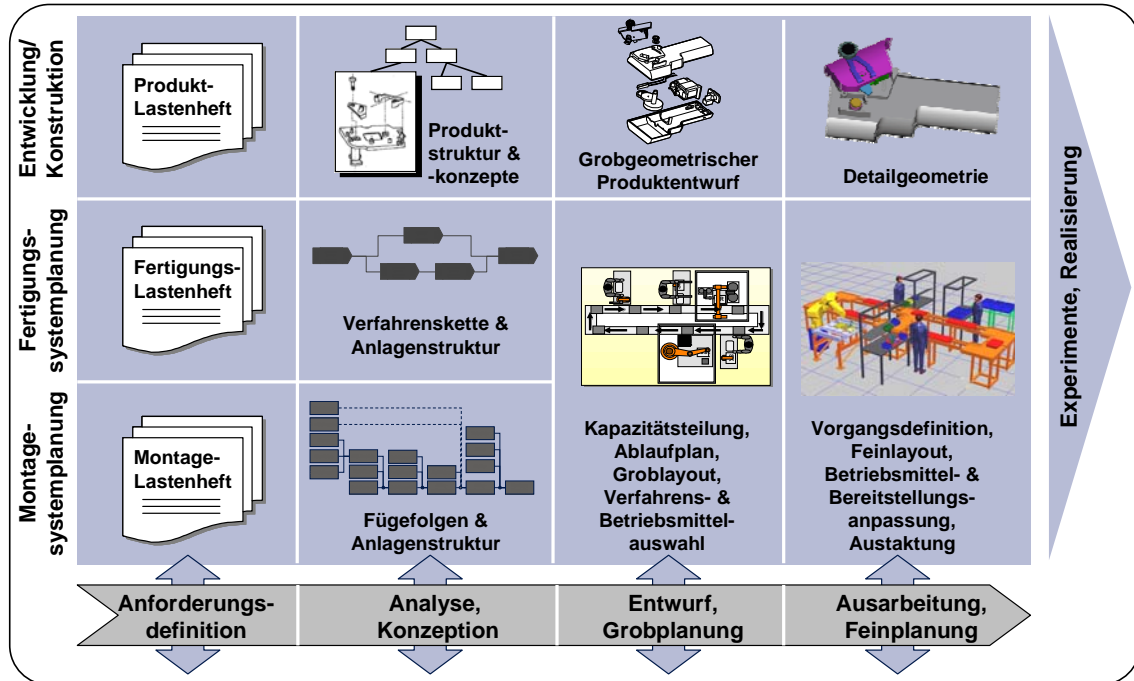


Abbildung 5: Übersicht über die integrierte Produktentwicklung und Montageplanung nach EHRENSPIEL (2007) und GRUNWALD (2002)

2.3 Wirtschaftliche Montagesystemgestaltung

2.3.1 Produktstrukturierung

Eine wirtschaftliche Gestaltung der variantenreichen Serienmontage erfordert angesichts der skizzierten Herausforderungen (siehe Abschnitte 1.1, 1.3 und 2.1) eine optimale Abstimmung zwischen den global beteiligten Bereichen (REINHART & SCHNEIDER 1996). Die Grundlage bildet ein modularer Produktaufbau aus weitgehend standardisierten Bauteilen sowie untereinander kompatiblen, d. h. austauschbaren, Baugruppen. Einfache Bauteile und Baugruppen werden soweit möglich von Zulieferern bezogen und/oder in Billiglohnländern gefertigt und montiert. Im Rahmen von Baukasten- und Plattformstrategien werden damit in der Endmontage, als letzter Wertschöpfungsstufe, marktnah entsprechend variantenreiche bzw. individualisierte Produkte montiert (WILHELM 2003, WAGNER 2006, LINDEMANN U. A. 2006).

2.3.2 Arbeitsstrukturierung

Die *Montageorganisationsform* beschreibt die stückzahl- oder variantenbedingte Aufteilung der „Arbeit“ (im Folgenden als Summe der definiert auszuführenden Montagetätigkeiten zu verstehen) auf mehrere Mitarbeiter und/oder Stationen nach Menge und Art sowie das Zusammenwirken von Menschen und Betriebsmittel (SPUR & HELWIG 1986, REFA 1985). Eine Trennung der Montagetätigkeiten nach deren Art, entsprechend dem Grundprinzip der industriellen Fertigung, bedingt i. d. R. einen Transfer des Werkstücks zwischen verschiedenen Orten (= Arbeitsplätzen oder -stationen). Werkstücke mit mittleren Massen und Abmaßen können im einfachsten Fall manuell an benachbarte Arbeitsplätze weitergereicht werden. Für größere Produkte und aufgrund der einfach zu automatisierenden linearen Bewegung haben sich für die Bauteilweitergabe früh mechanisierte und automatisierte Hilfsmittel etabliert, wie Rollenförderer, Ketten- oder Gurtbandförderer. Die ursprüngliche Begrenztheit der Fördermittel auf eine Richtung zur Weitergabe führte zu der nach wie vor weit verbreiteten *Linienorganisation* in der Serienmontage. Neben der *räumlichen Anordnung* definiert die Verkettung auch die *zeitliche Bindung* zwischen den Stationen. So puffert das Fördermittel zum Ausgleich kurzfristiger z. B. individueller Leistungsschwankungen eine beschränkte Anzahl an Werkstücken (NOF U. A. 1997, SHANTHIKUMAR & RACHAMADUGU 1991, CHOW 1990, LOTTER 1989).

Die klassische frühindustrielle Aufteilung der Arbeit auf streng nacheinander folgende Stationen mit möglichst kurzen Tätigkeitsumfängen in Form der Reihen- oder Taktstraßenmontage (ohne/mit exakter Zeitvorgabe) wird für die Endmontage komplexer variantenreicher Erzeugnisse zunehmend durch die kombinierte Fließmontage ersetzt. Die synchrone Bewegung von Mitarbeitern und Montageobjekten über mehrere Stationen einer Linie oder auf einem kontinuierlich bewegten Fördermittel (= Fließband) gleicht schwankende Arbeitsumfänge zwischen den Produktvarianten selbsttätig aus und löst die starre Austaktung und Leistungsabstimmung auf (EVERSHEIM 1989, S. 176 f.; WILLNECKER 2000). Dazu überlappen sich die benachbarten Arbeitsbereiche und der Mitarbeiter folgt dem Montageobjekt einfach etwas länger. Alternative Organisationsformen wie die parallele Einzelplatz- oder Inselmontage am stationären Montageobjekt kommen nur begrenzt zum Einsatz, beispielsweise in Vormontagen oder am Ende der Linie, wenn eine einzelne Tätigkeit nur sporadisch anfällt oder diese die Taktzeit erheblich überschreitet (VOSS 2005, DELCHAMBRE U. A. 2002, WARNECKE 1996).

Das Fließprinzip (der Begriff wird im Folgenden übergeordnet für eine verkettete Anordnung von Arbeitsplätzen und -stationen verwendet) mit aufgeteilten Arbeitsinhalten und ggf. bewegten Mitarbeitern bietet vielfältige Vorteile gegenüber der Zentralisation der gesamten (Montage-)Aufgabe an einem Ort. Teure Spezialbetriebsmittel für einzelne Montageoperationen müssen nur an einer Station oder einem Arbeitsplatz bereitgestellt werden. Außerdem können beschränkte Tätigkeitsumfänge auch von ungelernten Mitarbeitern schnell und sicher beherrscht werden (SHANTHIKUMAR & RACHAMADUGU 1991, LOTTER 1989, SPUR & HELWIG 1986).

Weitere Vorteile bietet das Fließprinzip vor allem für die Montagelogistik bei komplexen mehrstufigen Versorgungsketten mit einer verteilten Produktion auf verschiedene Standorte und Zulieferer. Die stabile Sequenz (= Folge der Produktvarianten), sobald sich ein Werkstück in der *Linie* in Bearbeitung befindet, und die gute räumliche Zugänglichkeit zu einem bestimmten Montagevorgang sind Voraussetzung für eine bedarfsgerechte *Just-in-time* oder *Just-in-sequence* (termin- und reihenfolgenoptimierte) Materialversorgung. Bei ausreichender Entzerrung der Montageoperationen kann auch die Bereitstellung größerer Vormontagebaugruppen direkt in den Transportbinden zu beiden Seiten der Linie erfolgen. Wartezeiten während des Bauteiltransfers oder zusätzliche Rückwege fallen demgegenüber kaum ins Gewicht (SCHUH & GOTTSCHALK 2006, VOSS 2005, SCHWERTNER 2005, WILLNECKER 2000, HECHL 1994).

2.3.3 Arbeitsgestaltung

Die umfassendsten Vorgaben zur Ausgestaltung wirtschaftlicher Arbeits- und Montagesysteme kamen vor ungefähr zwei Jahrzehnten unter dem Begriff *lean production* (engl. für „schlanke Produktion“) aus Japan (WOMACK U. A. 1991). Die deterministische europäische Herangehensweise (vgl. REFA 1985) wurde im Zuge dessen zumindest teilweise durch eher übergeordnete Vorgaben abgelöst. Aufbauend auf einer montagegerechten Konstruktion und modernen arbeitsteiligen Fertigungsstrukturen (siehe vorangegangener Abschnitt) wurde das Fließprinzip ausgeweitet, um Verschwendung in Logistik, Montage, Teilefertigung bis hin zu den Lieferanten zu vermeiden. Ausgehend vom Kunden zieht jede Station rhythmisch im Takt ihr benötigtes Material von den vorgelagerten Stationen (Pull-Prinzip). Dazu sind alle Stationen über kurze Regelkreise verbunden, für die eine definierte Gruppe von Mitarbeitern die gesamte Dispositions- und Qualitätsverantwortung trägt. Zur Beherrschung der steigenden Variantenzahl wur-

den verschiedene Methoden zur Reduzierung der Rüstzeiten und zur Vermeidung von Fertigungs- und Montagefehlern entwickelt, wie beispielsweise fehlersichere Vorrichtungen durch „Poka Yoke“ (japan. für „unnötige Fehler vermeiden“). Eine bedeutende Rolle kommt dabei der Modularisierung und Standardisierung von Abläufen, Prozessen und Arbeitssystemen zu. Generell ist eine Bevorzugung manueller Arbeit gegenüber komplexen Automaten kennzeichnend, da diese häufig hoch bezahlte Inspektions- und Reparaturtätigkeiten bedingen. Die Weitergabe der Werkstücke erfolgt im *one piece flow* (engl. für „Einzelstückfluss“) und die Mitarbeiter bedienen immer mehrere (einfache) Maschinen, d. h. sie führen mehrere aufeinanderfolgende Montageoperationen innerhalb ihres Regelkreises aus (SHINGO 1989). *Ganzheitliche Produktionssysteme* (in Anlehnung an das „Toyota Produktionssystem“ als Ursprung) fassen die Einzelmaßnahmen und die Methoden zusammen und zielen auf deren fortwährende Weiterentwicklung, im Sinne von *Kaizen* (japan. für „Veränderung zum Besseren“) (DOMBROWSKI U. A. 2006, ZÄH & AULL 2006). Die grundlegenden Ansätze und Empfehlungen haben inzwischen auf breiter Basis weltweit Einzug in alle Bereiche der Serienfertigung gehalten (vgl. KAMMÜLLER 2006, Prasch & KRAUß 2008).

2.3.4 Technikgestaltung

Die Montagebetriebsmittel sind ebenso wie die Produkte und Prozesse möglichst modular und flexibel zu gestalten (WARNECKE 1996, REINHART U. A. 1996, REINHART 1997, HESSE 2002, KONOLD & REGER 2003 KIRCHNER U. A. 2005). Mit einer flexiblen Anlagentechnik können unterschiedliche Bauteile gehandhabt sowie variierende Montageoperationen abgearbeitet werden. Dazu bieten sich werkstückunabhängige oder leicht austauschbare Greifer und Werkzeuge mit standardisierten Schnittstellen zu universellen Handhabungshilfsmitteln an, wie Industrieroboter oder Mehrachssysteme (OWEN 1984, ANDREASEN & AHM 1988, WARNECKE 1996, FICHTMÜLLER 1996). Durch die Möglichkeit zum vordefinierten schrittweisen Kapazitätsauf- und Rückbau können schwankende Stückzahlen bei annähernd gleich bleibenden Stückkosten produziert werden (SPATH 1996, KRÜGER 2004). Die damit gegebene so genannte Atmungsfähigkeit solcher Systeme kann kurz-, mittel- und langfristiger Natur sein. Eine kurzfristige Anpassung erfolgt beispielsweise zum Ausgleich statistischer Absatzschwankungen oder sonstiger Störungen. Mittel- und langfristig gesehen ist es möglich, sich gleitend der saisonalen beziehungsweise produktlebenszyklusorientierten Nachfrage kapazitiv anzupassen. Die Stückzahlflexibilität wird zunächst über personelle oder organisatorische Maßnahmen wie Schichtmodelle, Arbeitszeitsysteme

und Lager realisiert. Reichen diese Maßnahmen nicht aus, können durch technische Maßnahmen manuelle Arbeitsplätze oder automatisierte Stationen hinzugefügt oder weggenommen werden. Voraussetzung dafür ist eine Modulbildung mit orts- und mitarbeiterflexiblen Arbeitsplätzen und -stationen sowie die Verwendung von standardisierten Betriebsmitteln (z. B.: Werkzeuge, Tische, Fördermittel) mit entsprechender Medienversorgung für eine schnelle Austauschbarkeit und Wiederverwendbarkeit (DÜRRSCHMIDT 2001, KRÜGER 2004). Aufgrund der anfallenden Rüstzeiten werden die zuletzt genannten Eingriffe in die Produktionsstruktur derzeit kaum zur Kompensation kurzfristiger Schwankungen herangezogen. Darüber hinaus unterstützen die Austauschbarkeit und Rekonfiguration (= Neuordnung) der Bestandteile eine schnelle und aufwandsarme „wandlungsfähige“ Anpassung der Produktion an geänderte Produkte oder Varianten sowie Prozesse (ZÄH U. A. 2006D, ZÄH U. A. 2004B, HERNÁNDEZ 2003, REINHART U. A. 2003, MATT 2003, WESTKÄMPER 2000). Damit kann auch unter den geänderten Marktanforderungen das Grundprinzip der Serienfertigung beibehalten werden, nämlich die *„ununterbrochene [hoch automatisierte] Fertigung gleicher Werkstücke, ggf. in mehreren Fertigungslosen“* in einem Montagesystem (= Produktion im Fluss), mit dem Ziel, Investitionen auf eine große Anzahl gleicher Produkte umzulegen (EVERSHEIM & SCHUH 1996, S. 9-66).

2.3.5 Weiterentwicklung der Montagesystemgestaltung

Speziell für die variantenreiche Serienfertigung wurden in neueren Forschungsprojekten des BMBF zur „beschäftigungsförderlichen Rationalisierung“ die Lösungsansätze der wandlungsfähigen und schlanken Produktion für den Standort Deutschland angepasst und weiterentwickelt (vgl. WIRTH U. A. 2003, HERNÁNDEZ 2003, WITTE & VIELHABER 2003, FELDMANN U. A. 2004, SLAMA 2004, WIENDAHL U. A. 2004).

So entwickelten FELDMANN U. A. (2004) im Projekt „Marktorientierte Montagestrukturen“ (MAMOS) Strategien zur wirtschaftlichen kundenbezogenen Ausrichtung und Planung der Montage bei kleinen und mittleren Unternehmen. Die Modularisierung und Standardisierung werden vor allem für die hybride Kleinserienmontage weitergetrieben und z. B. in Form von Gestaltungsrichtlinien für Materialversorgungsmodule exakt spezifiziert. Übergreifend werden Maßnahmen zur Mitarbeiterschulung und -qualifizierung vorgestellt sowie Softwarehilfsmittel für die Montageplanung und für die Bereitstellung von Informationen für die Mitarbeiter implementiert.

WITTE & VIELHABER (2003) stellen im Projekt „Serienmontage rationell und flexibel“ (Moratio) neue Entwicklungs- und Planungskonzepte für kundenorientierte Fabriken vor allem für Automobilzulieferer vor. Ausgehend von der Produktentwicklung, der Montagesystem- und der Logistikgestaltung wird die Modularisierung auch auf die Fabrikgebäudestruktur übertragen.

Der Ansatz der „hochflexiblen Produktionsendstufe“ (PEflex) von WIENDAHL U. A. (2004) führt die Prozessorientierung der schlanken Produktion konsequent weiter. Sämtliche Fertigungs- und Montagetätigkeiten werden danach geordnet, ob sie kundenspezifische Varianten bilden oder ob unabhängig auf Lager produziert werden kann. Zielsetzung der anschließenden Gestaltung der Prozesskette ist ein möglichst später Kundenentkopplungspunkt, ab dem ein Produkt einem Kundenauftrag fest zugeordnet ist. Daraus erwachsen neue Anforderungen sowohl an die Fertigungs- als auch an die Montagebetriebsmittel. Erstere dürfen z. B. keine Verunreinigungen in die Montageumgebung einbringen und müssen nahezu stückweise umrüstbar sein. Die Anforderungen an die Ausgestaltung der Arbeits- und Montagesysteme detailliert vor allem HERNÁNDEZ (2003). Gerade für die kundenorientierte hoch flexible Produktionsendstufe kommt dem Thema wandlungsfähige Arbeitsplatzgestaltung besondere Bedeutung zu. Dazu sind Arbeitsplätze einfach ortsverlagerbar (z. B. auf Rollen) und, soweit möglich, durch eine gewisse Überdimensionierung funktions- und nutzungsneutral bezüglich des Werkstückes auszuführen. Definierte Schnittstellen schaffen Freiheitsgrade für alternative Verkettungs- und Bereitstellungseinrichtungen sowie zusätzliche Hilfsmittel wie Kräne o. ä.

Die Resonanz auf den unmittelbar darauf folgenden Forschungscluster „Kompetenz Montage (KoMo) – Global agieren, am Standort Deutschland montieren“ des BMBF (SIEG 2008) und die neue langfristig angelegte Ausschreibung des BMBF zu „Standortsicherung durch wandlungsfähige Produktionssysteme“ (SCHWAB 2009) bestätigen zum einen die einleitend dargestellten Chancen für den Standort Deutschland und weisen gleichzeitig auf die Notwendigkeit der kontinuierlichen Weiterentwicklung der Arbeitsgestaltung hin. Die KoMo-Projekte ergänzen die eher technisch geprägten Projekte der ersten Runde um neue Konzepte für die Auftragsabwicklung (REINHART & SPATH 2008), um angepasste, d. h. lebenszyklusoptimierte Geschäftsmodelle (WITTE & VIELHABER 2008), um eine globale Produktionssystemgestaltung (NYHUIS U. A. 2008) und um Methoden zur erfahrungsbasierten Wissensarbeit (ADAMI U. A. 2008).

2.4 Ergonomische Montagesystemgestaltung

2.4.1 Begriff, Bedeutung und Arbeitsbereiche

Der Begriff Ergonomie setzt sich aus den griechischen Wörtern „εργον“ (griech. für „Arbeit“, „Werk“) und „νομος“ (griech. für „Gesetz“) zusammen. Im deutschen Sprachgebrauch stellt die Ergonomie, als Lehre, „*die sich mit Maß und Zahl um die Arbeitsgestaltung bemüht und vornehmlich auf die Wechselwirkungen zwischen Mensch und technischen Systemen gerichtet ist*“, nur ein Teilgebiet der Arbeitswissenschaften dar (KOETHER U. A. 2001, S. 162; HETTINGER U. A. 1980, S. 13; SCHMIDTKE 1993A, LUCZAK 1992, GALER 1987). Der Nutzen eines optimalen, d. h. angepassten Zusammenwirkens von Mensch und „Maschine“ (im Sinne eines jeglichen technischen Systems oder Gebildes) wurde vor allem im Rahmen von Rationalisierungs- und Wirtschaftlichkeitssteigerungsmaßnahmen sowie im militärischen Bereich zu Beginn des letzten Jahrhunderts offensichtlich. Die Vorteile äußerten sich in der Möglichkeit zur Senkung von Krankenquoten und Fehlbedienungen sowie letztlich im Potenzial zur Kosteneinsparung (ROHMERT U. A. 1971, HETTINGER U. A. 1980, KOETHER U. A. 2001).

Hauptzielrichtung der *Produktergonomie* ist die Abstimmung eines Produktes auf eine möglichst große Nutzergruppe. In der Regel erfolgt keine spezielle Anpassung an spezifische Merkmalsausprägungen einzelner Nutzer, da deren Merkmale nur in Form der allgemeinen Statistik zu menschlichen Eigenschaften bekannt sind. Bei der *Produktionsergonomie* hingegen, deren Ziel die menschengerechte Arbeitsplatzgestaltung ist, sind die Nutzer beziehungsweise zumindest die Nutzergruppen (bzgl. Geschlecht, Alter usw.) bekannt und damit zumindest potenziell berücksichtigbar. Die Forderung zur Beachtung des einzelnen Menschen entstand vor allem im Zuge der Entwicklung des Arbeitsschutzgesetzes und spezieller Arbeitsstättenverordnungen sowie der Empfehlungen der Berufsgenossenschaften (ARBSCHG 1996, VBMG 2005). Die beiden genannten Disziplinen bedienen sich derselben Grundlagen, zumal auch Arbeits- und Betriebsmittel im weiteren Sinne Produkte darstellen.

Die Anpassung von Arbeit und Mensch kann in zwei Richtungen erfolgen. Die *Verhaltensergonomie* unterweist, sensibilisiert und schult den Mitarbeiter zum gesundheitsgerechten Umgang im Arbeitssystem, ohne selbiges zu verändern. Maßnahmen in diesem Bereich können in der Regel sehr schnell umgesetzt werden, zeigen aber oftmals erst langfristige Wirkung. Die *Verhältnisergonomie* hin-

gegen bemüht sich um eine optimale Gestaltung der situativen Arbeitsplatzfaktoren (Arbeitsinhalt, Arbeitsplatz, Arbeitsmittel und Arbeitsumwelt) und versucht diese bestmöglich dem Menschen beziehungsweise den jeweiligen Arbeitern anzupassen und wirkt damit unverzüglich (LANDAU 2002, SCHULTETUS 1987, KOETHER U. A. 2001).

Die herausragende Bedeutung der Ergonomie für die mitarbeiterintensive Montage wird durch die Vielzahl themenspezifischer Veröffentlichungen und Lehrbücher dokumentiert (z. B. SCHULTETUS 1987, LANDAU & LUCZAK 2001). Darüber hinaus fehlen in keinem der grundlegenden Werke zur Montagegestaltung ausführliche Hinweise dazu (vgl. SPUR & STÖFERLE 1986, BULLINGER 1986, NOF U. A. 1997, LOTTER U. A. 1998). SCHOTT (1997) stellt dazu am Ende eines industriellen Erfahrungsberichtes fest, „*dass ein manueller Arbeitsplatz, der nach arbeitswissenschaftlichen rationellen Gesichtspunkten gestaltet und aufgebaut wurde, sehr schwer wirtschaftlich durch Automation ersetzt werden kann*“ (vgl. BOSCHREXROTH 2004).

2.4.2 Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept

Grundlage für eine ergonomische, günstige Montagegestaltung ist die Kenntnis über die Wirkung der (Montage-)Arbeit auf den Menschen. SCHMIDTKE & BUBB (1993) erläutern den Zusammenhang in Form des *Belastungs-Beanspruchungs-Konzepts* (siehe Abbildung 6). Während des Arbeitsvollzugs wirken der *Arbeitsgegenstand* (= Montageaufgabe), die *Arbeitsumwelt* und die *Arbeitsmittel* (= Betriebsmittel des Montagesystems) auf den Menschen ein. Die Einflüsse werden in Analogie zur Mechanik als *Belastung* bezeichnet. Je nach *Art*, zeitlicher *Dauer* und *Höhe* führt die Belastung zu einer mitunter messbaren *Beanspruchung* des Menschen (als Pendant zum Bauteil in der Mechanik).

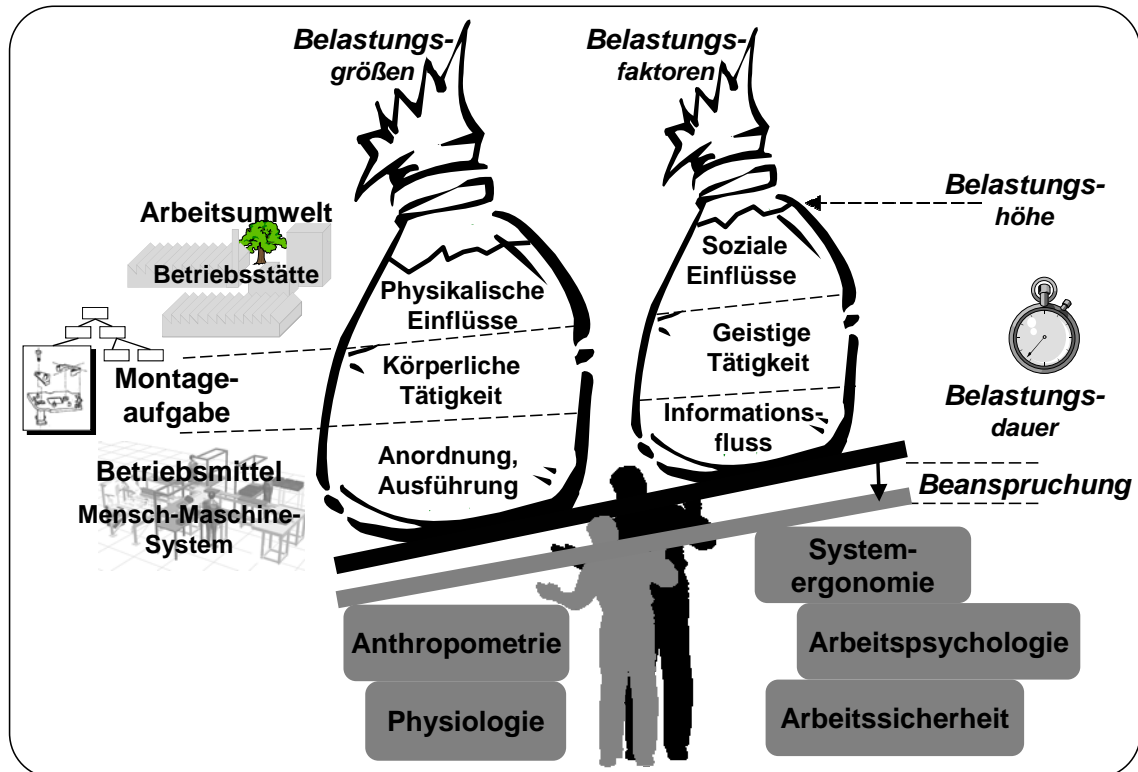


Abbildung 6: Mitarbeiterbeanspruchung in der Montage und relevante arbeitswissenschaftliche Disziplinen (vgl. ROHMERT U. A. 1971, HETTINGER U. A. 1980, SCHULTETUS 1987, SCHMIDTKE 1993A, LANDAU & LUCZAK 2001)

Da die physischen, psychischen und sozialen Voraussetzungen individuell sehr stark variieren, kann eine belastungsabhängige Beanspruchung immer nur für eine definierte Person oder Personengruppe an einem festgelegten Arbeitsplatz bei konstanter Umgebung erfasst werden. ROHMERT U. A. (1971) unterteilen dazu die Belastungen nach ihrer Art in messbare *Belastungsgrößen* und nicht messbare *Belastungsfaktoren*. Die Arbeitsbelastung in der Montage wird vorwiegend über die Sinnesorgane wahrgenommen und fordert hauptsächlich den Bewegungsapparat (SCHULTETUS 1987). Die einzelnen Disziplinen der Arbeitswissenschaft, allen voran die Produktionsergonomie, zielen auf die Reduzierung von Belastungen des Menschen während der Arbeit oder zumindest auf eine bestmögliche Unterstützung. Abbildung 6 zeigt die verschiedenen Belastungen bei Montagearbeiten nach ihrem Ursprung und ordnet sie in das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept ein.

2.4.3 Leistungsangebot des Menschen

Wie im vorangegangenen Abschnitt gezeigt, kann die Beanspruchung durch eine Arbeit oder Tätigkeit nie allgemeingültig gemessen werden. Abbildung 7 stellt das Zusammenwirken der sachlichen und der menschlichen Voraussetzungen zur Leistungserbringung in Arbeitsumgebungen dar.

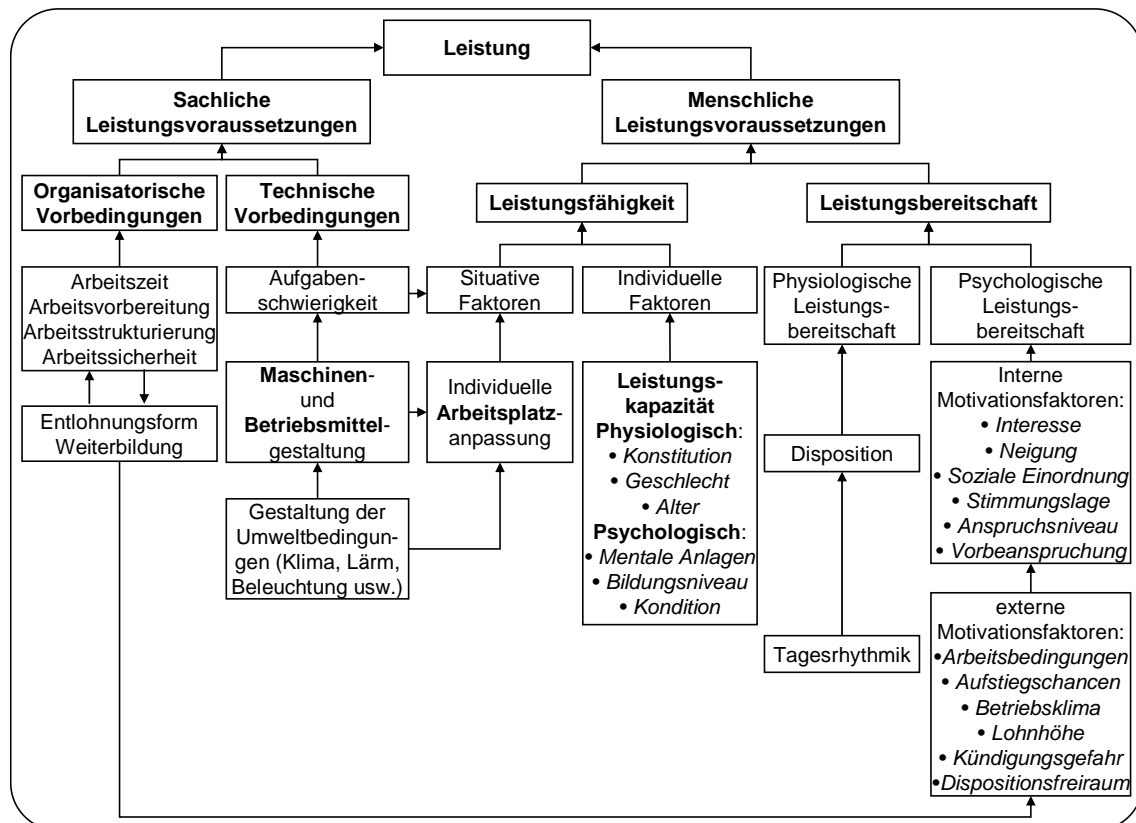


Abbildung 7: Einflussfaktoren auf den Leistungsbegriff der Ergonomie
(SCHMIDTKE 1993B)

Wie aus der Darstellung in Abbildung 7 ersichtlich, wird die verfügbare Arbeitsleistung des Menschen wesentlich durch seine Fähigkeit in Abhängigkeit von der individuellen physiologischen und psychologischen Leistungskapazität sowie seiner Bereitschaft zur Leistungserbringung bestimmt. Um die Leistung im Produktionsprozess zu maximieren, müssen die Organisation und die Technik, insbesondere die Maschinen, die Betriebsmittel und der Arbeitsplatz, auf den spezifischen Arbeiter abgestimmt sein.

Dabei ist zu beachten, dass nur ein Teil (ca. 65 %) der absoluten menschlichen Leistungsfähigkeit intrinsisch, also durch das Bewusstsein, mobilisiert werden kann. Für Gefahrensituationen stehen dem Menschen autonom geschützte Leis-

tungsreserven zur Verfügung, deren Freisetzung besonderer äußerer Reize bedarf, wie beispielsweise Gefahrensituationen oder Drogeneinfluss, da unmittelbare Schädigungen des Organismus drohen. Die Belastung im Rahmen der (Erwerbs-)Arbeit sollte maximal zu einer Beanspruchung von ca. 35 % der individuellen menschlichen Leistungsfähigkeit führen, damit ausreichend willentlich mobilisierbare Reserven zur Verfügung stehen (HETTINGER U. A. 1980). Diese Betrachtungen beziehen sich vorwiegend auf physiologische Merkmale und können dementsprechend in weiten Teilen über eine Erhöhung der Pulsfrequenz, der Muskelübersäuerung u. v. m. gemessen werden.

Eine gewisse wirtschaftliche Verkürzung des Leistungsbegriffes nimmt das System der Arbeitswirtschaft (vgl. REFA 1984, REFA 1991) vor, das hauptsächlich auf die personenunabhängige Messbarmachung menschlicher Arbeit zum Zwecke der Entlohnung zielt. Dazu wird die erbrachte Arbeitsleistung gegenüber einer Bezugsleistung beurteilt. Der Leistungsgrad eines Mitarbeiters bestimmt sich danach aus der *Intensität* (= Bewegungsgeschwindigkeit und Kraftanspannung) der Arbeit und der *Wirksamkeit* (= Güte der Arbeitsbewegung) der Ausführung. Für die Bewertung von Tätigkeiten und Leistungen steht ein umfangreiches Tabellenwerk vorbestimmter Zeiten zur Verfügung (WILLNECKER 2000).

2.4.4 Belastungen in der Montage

In der Montage gilt es in erster Linie Bauteile und Baugruppen lagerichtig bereitzustellen und zu fügen. Hinzu kommen Überwachungs- und Prüftätigkeiten und gegebenenfalls Dispositions- oder Instandhaltungsaufgaben. Die Aufzählung zeigt, dass es sich dabei sowohl um körperlich als auch um geistig belastende Tätigkeiten handelt und eine klare Trennung vielfach nicht möglich ist. Die fortschreitende mechanisierte Energiezuführung und vollständige Automatisierung mittels moderner IT-Systeme steigert für den Arbeiter den Anteil komplexer und wechselnder Füge- und Überwachungsvorgänge und damit die *psychophysische* Belastung. Kombinierte körperliche und geistige Belastungen erfordern in der Montage vor allem eine Koordination von Motorik und Sensorik und werden als *sensumotorische Tätigkeiten* bezeichnet (LANDAU U. A. 2001, S. 5; ROHMERT U. A. 1971). Im Folgenden werden die unterschiedlichen Belastungsarten und ihre Bedeutung für die manuelle Montage kurz vorgestellt. Auf die Problematik der Trennung in körperliche und mentale Belastungen sei nochmals hingewiesen. SCHULTETUS (1987, S. 18 ff.) unterscheidet in Anlehnung an ROHMERT (1980) fünf Arten von vorwiegend körperlichen Belastungen:

1. *Haltungsarbeit*, als statische Form der Muskelbeanspruchung, tritt besonders bei gebücktem Stehen oder beim Hocken auf, beispielsweise bei der Inspektion schlecht zugänglicher Bereiche von großen Werkstücken (wie im Fußraum eines Fahrzeuges). Jede Tätigkeit an einem festgelegten (Montage-)Ort erzwingt einen gewissen Anteil an Haltungsarbeit. Die dafür notwendige andauernde Kontraktion einer spezifischen Muskelpartie reduziert die Blutzirkulation in den betroffenen Körperpartien und führt schnell zur Ermüdung. Dementsprechend muss die *Haltung* (= spezifische Stellung der menschlichen Gliedmaße) innerhalb eines gewissen Bereichs gewechselt werden können und darüber hinaus sind Entlastungszeiten vorzusehen. Sofern ein Wechsel der Tätigkeitsweise zwischen den unterschiedlichen natürlichen menschlichen *Grundhaltungen* Stehen, Gehen und Sitzen vollkommen ausgeschlossen ist oder sich auf wenige Pausen beschränkt, erfordert bereits das dauerhafte Aufrechterhalten der stehenden Arbeitsposition Haltungsarbeit.
2. Im Fall von *Haltearbeit* werden zusätzlich statische Kräfte aufgebracht, z. B. zum Fixieren von Bauteilen während des Fügens. Diese ungünstige Beanspruchung kann nur für sehr kurze Zeit (wenige Minuten) aufrechterhalten werden und ist bei sich wiederholenden Tätigkeiten unbedingt zu minimieren.
3. Sofern zumindest eine geringfügige (langsame) Bewegung ausgeführt wird, wie z. B. beim Bedienen eines Elektroschraubers, handelt es sich um *Kontraktionsarbeit*. Die kennzeichnende Beanspruchung ist ähnlich wie bei der statischen Muskelarbeit. Die geringfügige Variation der beanspruchten Muskelpartien erlaubt jedoch bereits eine deutlich längere Ausführung der Tätigkeit.
4. Eine *einseitige dynamische Arbeit* liegt vor, wenn kleine Muskelgruppen mit relativ hoher Bewegungsfrequenz genutzt werden, z. B. beim Betätigen von Scheren, Klipswerkzeugen oder bei Einlegetätigkeiten zumeist in kurzen Takten. Hierbei handelt es sich um typische sensumotorische Tätigkeiten. Die Energiebereitstellung und Krafterzeugung übernehmen Werkzeuge, Vorrichtungen und Hilfsmittel. Die Bewegung sowie die auftragsspezifische Bauteilzuordnung und die Überwachung vollführt der Mitarbeiter. Diese Tätigkeiten führen zu keiner außerordentlichen Ermüdung und sind kennzeichnend für die manuellen Tätigkeiten in der variantenreichen Serienmontage.
5. *Schwere dynamische Arbeit* ist geprägt durch die Beanspruchung eines Großteils der menschlichen Muskelpartien (z. B. mehr als beide Arme), wie beim

Bestücken von Paletten o. ä. und äußert sich in einer starken, dauerhaft ansteigenden Kreislaufbelastung. Dabei wird auch ein Teil der psychisch mobilisierbaren (geschützten) Leistungsreserven verwendet.

Die Beanspruchung infolge dynamischer Arbeit kann relativ zuverlässig gemessen werden, beispielsweise durch die Pulsfrequenz oder den Energieumsatz. Während einer normalen Arbeitsschicht (von acht Stunden) wird durch dynamische Muskelarbeit die Dauerbelastungsgrenze in der Regel nicht überschritten, wenn der Arbeitsenergieumsatz beim Mann weniger als ca. 16,5 kJ/min beträgt und sich der Puls nicht mehr als 40 Schläge pro Minute über das Ausgangsniveau (Ruhepuls) erhöht (HETTINGER U. A. 1980, S. 50 f.). Für geistig beanspruchende Tätigkeiten existieren keine gesicherten Messverfahren und Belastungsgrenzwerte (SCHMIDTKE 1993c, HACKER 2005). Umfangreichere Ausführungen zu resultierenden Beanspruchungen finden sich bei HACKER (2005). LANDAU U. A. (2001) schlagen ebenfalls in Anlehnung an ROHMERT (1980) eine Dreiteilung montagerelevanter mentaler Tätigkeiten vor:

1. *Reaktive Arbeit* setzt durch die Sinnesorgane wahrgenommene (in der Montage vorwiegend visuelle und haptische) Information lediglich in Reaktion um, beispielsweise bei der Anwesenheitskontrolle oder bei einfachen Sichtprüfungen. Die Reaktion beinhaltet zumeist nur geringfügige muskuläre Belastungen wie zum Betätigen von Tastern, kann aber auch eine umfangreiche Muskelarbeit nach sich ziehen, z. B. beim manuellen Aussortieren eines Produktes. Während der Montage komplexer Produkte fällt eine Vielzahl solcher reaktiven Tätigkeiten auch innerhalb einer einzelnen Montageoperation an, beispielsweise zum Ausgleich von Lagetoleranzen. Vom Mitarbeiter fordern diese Aufgaben nach kurzen Anlernphasen nur eine dauerhaft hohe Aufmerksamkeit und eine ständige Fixierung seiner Sinne (v. a. der Augen), allerdings bei hohem Verantwortungsdruck. Bei zu großer Monotonie können sich Unterforderung und eingeschränkter zwischenmenschlicher Kontakt negativ auf die Persönlichkeit des Mitarbeiters auswirken.
2. Bei der *informativischen Arbeit* werden höhere geistige Fähigkeiten zur Umsetzung von Eingangs- in Ausgangsinformationen genutzt. Diese Tätigkeitsform tritt beispielsweise bei Dispositions-, Verwaltungs-, Revisions- und Instandhaltungstätigkeiten auf. Die Übertragung auf die Montagearbeiter erfolgte vor allem im Rahmen von Arbeitsbereicherungsmaßnahmen zur Steigerung der Motivation und Arbeitszufriedenheit. Derartige Aufgabenstellungen werden den Fähigkeiten des Menschen am ehesten gerecht, sofern keine

Überforderung durch Zeitdruck oder mangelnde Informationsbereitstellung besteht. Eine Vielzahl dieser Aufgaben übernehmen inzwischen jedoch umfangreiche Softwaresysteme zur Produktionssteuerung und Auftragsabwicklung.

3. *Geistige Arbeit im engeren Sinne* zum Erzeugen von Information auf Basis von Kenntnissen, Beobachtungen und deren Verknüpfung zur Entscheidungsfindung obliegt im arbeitsteiligen Produktionsbetrieb nur selten der unmittelbar ausführenden Ebene. Sie setzt in der Regel neben überdurchschnittlichen geistigen Fähigkeiten eine spezielle und damit teure Qualifikation (= Berufs(aus)bildung) und Schulung (= einsatzbezogene Wissens-, Kenntnis- und Fähigkeitsvermittlung) voraus.

Weiterhin können ungünstige Umwelteinflüsse, wie Hitze, Lärm, Staub o. ä., zu zusätzlichen Beanspruchungen für die Mitarbeiter führen. In der Montage haben diese eher eine nachrangige Bedeutung, da gerade im Umgang mit fertigen Produkten Beschädigungen und Verunreinigungen zu vermeiden sind. Für physikalische Belastungen durch Beleuchtung, Strahlung, Lärm u. v. m. existieren eine Vielzahl von arbeitswissenschaftlich gesicherten Erkenntnissen, welche in umfassenden Werken und Verordnungen auch zahlenmäßig dokumentiert sind (vgl. SCHULTETUS 1987, HELL U. A. 1985, VBMG 2005). Anhand einer im Rahmen des von der DFG geförderten Sonderforschungsbereiches 158 durchgeführten Auswertung von 464 Montagearbeitsplätzen in der variantenreichen Serienproduktion (RALLY 1996) sowie einer weltweit vergleichenden Untersuchung von Automobilherstellern (FREIBOTH U. A. 1997) kann auf Basis der erfassten Tätigkeiten zumindest eine Abschätzung der Häufigkeit unterschiedlicher Belastungen in der Montage getroffen werden (siehe Tabelle 1).

TÄTIGKEIT	GERINGSTER ANTEIL	GRÖßTER ANTEIL
Montieren	52 %	68 %
Material bereitstellen	4 %	45 %
Erweiterte Aufgaben (Rüsten, Instandhalten, Disponieren, u. s. w.)	9 %	24 %

Tabelle 1: Statistische Erfassung von Arbeitertätigkeiten während einer Schicht von acht Stunden in der Serienmontage nach Art und Umfang (Taktzeit zwischen 20 s und 7 min; Mittelwert 90 s) nach RALLY (1996) und FREIBOTH U. A. (1997)

Der erfasste Anteil an informatorischen und rein geistigen Tätigkeiten im Rahmen erweiterter Aufgaben betrug insgesamt zwischen 2 % und 10 %, wobei der Mittelwert bei den ausführenden Montagearbeitern deutlich im unteren Bereich lag (FREIBOTH U. A. 1997). 35,4 % der Arbeitsplätze erfordern überwiegend einseitige dynamische Muskelarbeit, welche in mehr als der Hälfte der Fälle mit ungünstigen Körperhaltungen und damit Haltungsarbeit einhergeht (RALLY 1996). LANDAU U. A. (2001) weisen darauf hin, dass die Belastungen zwischen unterschiedlichen Bereichen der Montage mitunter erheblich variieren. Das stetige Fortschreiten der Automatisierungstechnik und neue organisatorische und betriebswissenschaftliche Ansätze verändern fortwährend die Arbeitsbedingungen in Montagesystemen und damit auch die Belastungen.

2.4.5 Aspekte der Anthropometrie und Physiologie

Für die beanspruchungsgerechte Auslegung von Produktionsarbeitsplätzen mit überwiegend körperlichen (Montage-)Tätigkeiten existiert ein umfassendes Regelwerk (DIN 33 406 (1988) ff.). Die *Anthropometrie* (als „*Lehre von den Maßen des menschlichen Körpers*“; KOETHER U. A. 2001, S. 200) entwickelt ausgehend von den menschlichen Körperabmessungen und Funktionsmaßen Richtlinien für die Dimensionierung insbesondere von Höhen-, Breiten- und Tiefenmaßen von Arbeitsplätzen (DIN 33 402-1 (1978), DIN 33 411-1 (1982)). Zudem werden ausführbare und zulässige Kräfte, Bewegungen und Körperstellungen beschrieben sowie praktische Hinweise gegeben, z. B. zur Vermeidung von anatomischen Endstellungen, also maximal erreichbarer Gelenkstellungen, um die Drehmomente am Gelenk zu reduzieren.

Die *Physiologie* (im Sinne der Arbeitsmedizin als Lehre von der Funktion des menschlichen Körpers bei der Arbeit; SCHMIDTKE 1993A) trägt dem dynamischen Aspekt der Arbeit Rechnung. Es werden vor allem medizinisch begründete Richt- und Grenzwerte aufgestellt. Für die Belastung beispielsweise beim Heben und Tragen sind dies die technischen Bedingungen Gewicht, Häufigkeit, Dauer und Körperhaltung sowie die menschlichen Voraussetzungen Geschlecht, Alter, Konstitution und Trainiertheit (SCHMIDTKE & RÜHMANN 1992, SCHMIDTKE 1993A, HETTINGER U. A. 1980). Die Physiologie findet auch bei statischen Kräfteanwendung, beispielsweise beim Halten eines Bauteils während des Fügeprozesses, da menschliche Muskelfasern dazu ständig neu kontrahiert werden müssen. SCHMIDTKE & RÜHMANN (1999) bieten eine umfassende quantitative

Auslegungsbasis für motorische menschliche Tätigkeiten an, die auch die erreichbare Genauigkeit für feinmotorische Aufgaben aufzeigt.

Die Angabe der Werte (für Maße und Kräfte) erfolgt stets in Perzentilen. „*Ein Perzentilwert gibt an, wie viel Prozent der Menschen in einer Bevölkerungsgruppe – (beispielsweise) in Bezug auf ein bestimmtes Körpermaß – kleiner (oder größer) sind als der jeweils angegebene Wert*“ (DIN 33 402-1 (1978)). Aufgrund der breiten und vor allem nach oben hin nahezu offenen Streuung menschlicher Eigenschaften (z. B. bei der Körpergröße) hat sich als Richtwert für die Arbeitsgestaltung ein Zielwert von 90 % herausgebildet (HETTINGER U. A. 1980, SCHULTETUS 1987). Das heißt, ein Gerät (z. B. Arbeitstisch) sollte sich für 90 % aller potenziellen Nutzer eignen oder sich für diese anpassen lassen und beispielsweise nur für die 5 % kleinsten oder 5 % größten Mitarbeiter nicht. Für die Grenzkraft beispielsweise bei selten auszuführenden Einlegearbeiten durch männliche Arbeiter empfiehlt SCHULTETUS (1987, S. 54 f.) maximal 72 % der Maximalkraft des 5. Perzentils je nach gegebener Körperhaltung aus DIN 33 411-1 (1982).

Ausgehend von Tabellen, Diagrammen und Schablonen vereinfacht vor allem seit dem letzten Jahrzehnt eine Fülle von Softwaresystemen die Auslegung von Arbeitsplätzen für den Planer. Dazu wurden mit den Daten der Normenwerke (siehe oben) unterschiedliche dreidimensionale Menschmodelle implementiert und in CAD- und CAx-Systeme eingebunden, wie beispielsweise „RAMSIS“ in „Technomatix - eM-Human“ von der Firma Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. (STRASSMANN 1998). Zusätzlich wurden verschiedene Auswerteverfahren integriert: der NIOSH-Ansatz für das Heben und Tragen, das Burandt-Schultetus-Verfahren zur Berechnung maximal zulässiger Lastgewichte und Betätigungskräfte sowie die OWAS-Methode zur Belastungsanalyse von körperlichen Zwangshaltungen. Damit können vielfältigste Haltungen und Kräfte während der Ausführung einer Arbeitsaufgabe erfasst und mit Belastungsgrenzen für unterschiedliche Personengruppen abgeglichen werden (GOETTSCHE 2007). Zusätzlich wurden in Bewertungshilfsmitteln wie „EKIDES“ des Lehrstuhls für Ergonomie der TU München in Checklisten umfassend ergonomische Richtlinien und Beurteilungskriterien für Arbeitssysteme gesammelt, um schnell und gezielt Optimierungshinweise ableiten zu können.

2.4.6 Systemergonomie und Arbeitspsychologie

Auch für die Gestaltung überwiegend mental beanspruchender Tätigkeiten existieren inzwischen vielfältige und umfassende Vorgaben und Richtlinien (ENGEL 2002), jedoch ohne die quantitative Exaktheit der Anthropometrie und Physiologie (LANDAU & LUCZAK 2001, HACKER 2005). Die *Systemergonomie* untersucht mit den Ansätzen der Systemtechnik und der Regelungstechnik die Schnittstellen von Mensch und Maschine, um die Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit zu steigern (BUBB & SCHMIDTKE 1993). Reize aus der Umwelt werden über die Sinnesorgane aufgenommen und zunächst gefiltert und mittels sprachlicher Begriffe, Emotionen oder Bildern mit einer Bedeutung belegt. Damit können erkannte Problemstellungen in adäquate Handlungsentwürfe überführt und in Form von geistigen Probehandlungen auf ihren möglichen Erfolg getestet werden. Abschließend folgt die tatsächliche motorisch koordinierte Ausführung (HETTINGER U. A. 1980, S. 321 f.). Durch die Zerlegung komplexer Vorgänge in Teilfunktionen werden Gestaltungsdimensionen und -alternativen früher ersichtlich, eine Reizüberflutung des Arbeiters wird vermieden.

Darüber hinaus analysiert die *Arbeitspsychologie* die Auswirkungen der Organisation, vor allem der Arbeitsstrukturierung, auf die Psyche des Menschen sowie die resultierenden mentalen Beanspruchungen, z. B. durch Unter- oder Überforderung (DEBITZ 2005). Als Werkzeug dient vor allem die statistische Auswertung von Fremdbeobachtung und Eigenwahrnehmung von Arbeitern, die in Tätigkeitsbewertungssystemen systematisiert aufbereitet wurden (HACKER 2005). WILLNECKER (2000) erfasst die unterschiedlichen mentalen Beanspruchungen verschiedener Montageorganisationsformen und stellt speziell für die Serienproduktion Gestaltungsrichtlinien auf. Ein wesentliches Element bildet dabei die teilweise Befreiung des Mitarbeiters von allzu starren Zwängen beispielsweise mittels Entkopplung und veränderlichem Personaleinsatz. Neben einer freieren Entfaltung wird damit auch die individuelle Tagesrhythmik der Werker weniger gestört. In einer konsequenten Fortführung dieses Ansatzes zeigt HAUSOTTER (2001) durch eine mitarbeiterorientierte Differenzierung der Arbeitsorganisation Möglichkeiten zur verbesserten Nutzung der Leistungspotenziale der Mitarbeiter auf. Grundsätzlich ist bei der Aufteilung von Arbeitsinhalten auf mehrere Personen zu beachten, dass wirtschaftliches Bestreben nach relativ kurzen überschaubaren Arbeitsumfängen je Mitarbeiter und menschliches Bestreben nach Selbstbestimmung und -entfaltung teilweise zuwider laufen (ADAMI U. A. 2008). GOTTSCHALK (2006) nutzt für die wirtschaftliche Lösung dieses Konfliktes, be-

ziehungsweise die Ermittlung des optimalen Grades der Arbeitsteilung, Methoden des Komplexitätsmanagements.

2.4.7 Anwendungsvorgehen

Um der Fülle der zu beachtenden Aspekte und Aufgaben bei der menschengerechten Gestaltung von Arbeitssystemen Rechnung zu tragen, empfiehlt HACKER (2005, S. 800 f.) ein hierarchisches Vorgehen:

1. Die konsequente Anwendung und Einhaltung der einschlägigen Normen zur Arbeitsplatzgestaltung sichert zunächst die anthropometrische und physiologische *Ausführbarkeit* einer benötigten Tätigkeit.
2. Zur Vermeidung von Gesundheitsschäden gilt es die Summe aller Belastungen auch aus dem Arbeitsumfeld zu bewerten. Die dauerhafte *Schädigungslosigkeit* wird vor allem durch die Einhaltung von MAK-Werten und den Abgleich mit den Empfehlungen der Berufsgenossenschaften gewährleistet (vgl. VBMG 2005).
3. Das Prinzip der *Beeinträchtigungsfreiheit* fordert eine zumutbare Arbeitsaufgabe. Insbesondere ist zu prüfen, ob einseitige (dequalifizierende) psychophysische Belastungen wirken (vgl. ENGEL 2002).
4. Um die Zufriedenheit des Arbeiters zu steigern und die menschlichen Leistungsvoraussetzungen langfristig vollständig zu nutzen, verlangt die *Persönlichkeitsförderlichkeit* die stetige Weiterentwicklung des Mitarbeiters durch Schulung, Qualifizierung und personelle Entfaltung.

Eine Zusammenfassung sämtlicher relevanter arbeitswissenschaftlicher Disziplinen speziell für die Montage bieten KOETHER U. A. (2001) und LANDAU & LUCZAK (2001). Eine systematische Aufbereitung der Erkenntnisse für die inhaltliche und zeitliche Auslegung von Arbeitssystemen sowie eine anforderungsgerechte Entlohnung finden sich in REFA (1991) und REFA (1997).

3 Stand der Erkenntnisse

3.1 Physiologie und Psychologie des Alterns

Der Mensch unterliegt einem natürlichen, das heißt biologischen Alterungsprozess (BALTES U. A. 1994). Medizinische Studien definieren *Altern* vorwiegend als eine „mit zunehmenden kalendarischen Alter auftretende irreversible Vitalitätsabnahme eines Organismus“ (BEIER 1994). Die Ursachen hierfür sind vielfältig und noch nicht vollständig erforscht (DANNER & SCHRÖDER 1994). Augenscheinlich sind die Veränderungen im Bereich der physischen Merkmale und der Fähigkeiten des Menschen. Mit zunehmendem Alter ist tendenziell eine Abnahme der Skelettmuskelmasse und damit der erreichbaren Maximalkräfte zu beobachten. Ebenso sinken die mittlere und die maximale Pulsfrequenz sowie die Pumpleistung des Herzens über das Lebensalter ab und verringern die physiologische Leistungsfähigkeit des Menschen. Vor allem eine reduzierte Zellteilungsrate sowie ein verminderter Wassergehalt des Körpers führen zu Alterungsprozessen des Gewebes und zur Verkleinerung der Organe. Hinzu kommt eine Reihe „verschleißbedingter Alterskrankheiten“, die vorwiegend den Muskel-Skelett-Apparat, das Herz-Kreislauf-System sowie teilweise die Gehirn- und Nervenfunktionen betreffen. Die Ausprägungen sind individuell sehr unterschiedlich und treten in gravierendem Ausmaß erst in den letzten Lebensjahren auf. Neben den genannten organisch-biologischen beeinflusst eine Vielzahl weiterer Faktoren den menschlichen Alterungsprozess, z. B. aus der Umwelt (DANNER & SCHRÖDER 1994, CRAIK & SALTHOUSE 2000, ILMARINEN & TEMPEL 2002). Abbildung 8 stellt für messbare menschliche Fähigkeiten die altersbedingten Veränderungen den individuellen Unterschieden gegenüber.

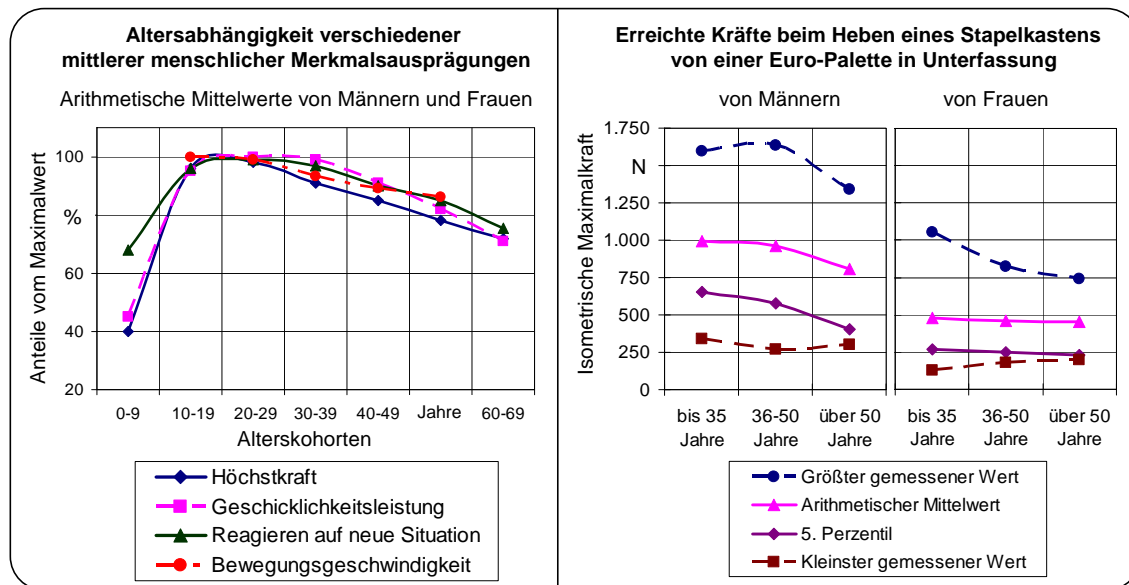


Abbildung 8: Vergleich altersabhängiger und interindividueller Ausprägungen menschlicher Fähigkeiten bei Erwerbstätigen (Datenquellen: TÄUBERT & REIF 1997, SCHMIDTKE & RÜHMANN 1999, SCHMIDTKE & RÜHMANN 1992)

Die tendenzielle altersbedingte Abnahme mittlerer physischer und sensumotorischer Fähigkeiten beträgt (vom Maximum mit ca. 25 Jahren angehend) im Laufe des Arbeitslebens (d. h. bis zum 65. Lebensjahr) nur ca. 20 bis 30 %. Die Messwerte für einzelne Fähigkeiten verschiedener Personen (wie z. B. der maximalen Hubkraft) variieren hingegen zwischen dem 5. und dem 95. Perzentil selbst innerhalb einer engen Altersgruppe um ein Vielfaches. Darüber hinaus kann der Mensch in jedem Alter durch Lernen und Training (gezielt) Fähigkeiten erwerben, erweitern oder Defizite kompensieren (SCHMITZ-SCHERZER U. A. 1994). Lerneffekte treten selbst bei einfachen körperlichen Tätigkeiten auf (SCHMIDTKE & RÜHMANN 1999). Im Rahmen von Messreihen zur Ermittlung der Maximalkräfte beim Heben und Tragen wurden bei Versuchswiederholungen Steigerungen um bis zu 6 % gemessen (SCHMIDTKE & RÜHMANN 1992, S. 54). Durch Training (definiert als mittel- und langfristige Anpassungsvorgänge des Organismus an wiederholte Arbeiten oder Bewegungsabläufe) kann vor allem die Koordination, die Kraft und die Ausdauer ausgehend vom individuellen natürlichen Ausgangsniveau in jedem Alter erheblich (d. h. um mehr als 20 bis 30 %) gesteigert werden und damit den altersbedingten Abfall aufwiegen (TÄUBERT & REIF 1997, S. 65 f.).

Die Mehrheit der altersbedingten Veränderungen kann jedoch nicht gemessen, sondern nur qualitativ dargestellt werden. Dabei handelt es sich keineswegs nur

um mit zunehmendem Lebensalter abnehmende bzw. sich verschlechternde Merkmale. Gerade die mentalen Fähigkeiten profitieren in vielfältiger Weise von Lern- und Erfahrungseffekten und können zeitlebens gesteigert werden. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Fülle altersbedingter menschlicher Veränderungen und nimmt eine qualitative Bewertung hinsichtlich der tendenziellen Veränderungsrichtung vor.

TENDENZIELL ABNEHMEND	TENDENZIELL GLEICHBLEIBEND	TENDENZIELLE ZUNEHMEND
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Maximale statische und dynamische Muskelkraft ▪ Maximale Herz-Kreislauf-Dauerbelastbarkeit ▪ Maximale Bewegungsgeschwindigkeit ▪ Seh-, Hör-, Tast- und Geschmackssinn ▪ Wahrnehmungs- und Reaktionsfähigkeit ▪ Kurzzeitgedächtnis ▪ Reaktionsflexibilität ▪ Abstraktionsfähigkeit (so genannte fluide Intelligenz) ▪ Risikobereitschaft 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mittlere Herz-Kreislauf-Dauerbelastbarkeit ▪ Mittlere Bewegungsgeschwindigkeit ▪ Aufmerksamkeit und Konzentrationsfähigkeit ▪ Vigilanz (Daueraufmerksamkeit) ▪ Kreativität 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Erkennen von Zusammenhängen ▪ Verbales Verständnis (so genannte kristalline Intelligenz) ▪ Problemlösungskompetenz und Urteilskraft ▪ Strategisches Denken und Handeln ▪ Kommunikationsfähigkeit und soziale Kompetenz ▪ Langzeitgedächtnis

Tabelle 2: Einordnung menschlicher Eigenschaften und Fähigkeiten entsprechend altersbedingter Veränderungen (vgl. BALTES U. A. 1994, BUCK U. A. 1996, TÄUBERT & REIF 1997, ÜPPING U. A. 1997, CRAIK & SALTHOUSE 2000, PACK U. A. 2000)

3.2 Arbeitsfähigkeit und Leistungswandlung im Zusammenhang mit dem Alter

Die generelle Arbeitsfähigkeit des Menschen hängt nur beschränkt von einzelnen (messbaren) physischen und sensumotorischen Fähigkeiten ab (SCHMITZ-SCHERZER U. A. 1994). ILMARINEN & TEMPEL (2002, S. 166) definieren „Arbeits(bewältigungs)fähigkeit“ als die „Summe von Faktoren, die eine Frau oder einen Mann in einer bestimmten Situation in die Lage versetzen, eine gestellte

Aufgabe erfolgreich zu bewältigen“. Eine ganzheitliche Auslegung von manueller Arbeit und von Arbeitsplätzen nach ergonomischen und arbeitswissenschaftlichen Gestaltungsregeln (siehe Abschnitt 2.4) gewährleistet die sichere Einsetzbarkeit der Mehrheit der Arbeitskräfte, unabhängig von deren Alter, wobei die *Reservekapazität* zwischen erreichbarer und geforderter Leistung vor allem bei physisch dominierten Tätigkeiten mit dem Alter abnimmt und damit die Beanspruchung mit dem Alter ansteigt (ILMARINEN 2001). Die gegenwärtigen Erkenntnisse widerlegen die *Defizit-Hypothese*, nach der Altern ausschließlich mit abnehmenden Fähigkeiten und einer eingeschränkten Arbeitseignung einhergeht (SCHMITZ-SCHERZER U. A. 1994, PACK U. A. 2000). „*Altern ist kein unveränderlicher Prozess, es ist u. a. ein Resultat menschlichen Handelns und kann durch entsprechende Maßnahmen beeinflusst werden*“ (BUCK U. A. 1996).

Allerdings steigt mit zunehmendem Alter die Wahrscheinlichkeit, dass schwere Erkrankungen sowie unfallbedingte Verletzungen auftreten oder bereits aufgetreten sind und bleibende Schädigungen des Organismus hinterlassen haben, deren Summe oder deren einzelne Auswirkungen die „spezielle Arbeitsfähigkeit“ an bestimmten Arbeitsplätzen sehr wohl mindern (ZÄH & PRASCH 2007, ZÄH & PRASCH 2006, LANDAU U. A. 2008, KNÜLLE 2005, BELWAL & HAIGHT 2005, ILMARINEN & TEMPEL 2002). Zudem können bei ungesunden Lebensgewohnheiten oder einseitigen Belastungen bereits bei jüngeren Arbeitern typische physisch leistungsbeeinträchtigende Alterskrankheiten wie Arteriosklerose und Arthrose auftreten (BALTES U. A. 1994, KROEMER 1997, ZÄH U. A. 2002).

Statistische Auswertungen von Krankenversicherern belegen eine deutlich ansteigende Arbeitsunfähigkeitsrate älterer Arbeitnehmer (siehe Abbildung 9). *Arbeitsunfähigkeit* liegt vor, wenn ein Arbeitnehmer „*auf Grund von Krankheit seine zuletzt ausgeübte Tätigkeit nicht mehr, oder nur unter Gefahr der Verschlimmerung der Erkrankung ausführen kann*“ (ARBEITSUNFÄHIGKEITSRICHTLINIEN 2004). Dabei ist der körperliche, geistige und seelische Zustand in Zusammenhang mit den Anforderungen und Belastungen des Arbeitsplatzes zu betrachten. Besonders gravierend häufen sich in der Gruppe der älteren Mitarbeiter die Fälle von Langzeit-Arbeitsunfähigkeit mit einer Dauer von mehr als sechs Wochen aufgrund von Erkrankungen und Verletzungen des Muskel-Skelettsystems, gefolgt von Herz-Kreislauf-Leiden.

3.2 Arbeitsfähigkeit und Leistungswandlung im Zusammenhang mit dem Alter

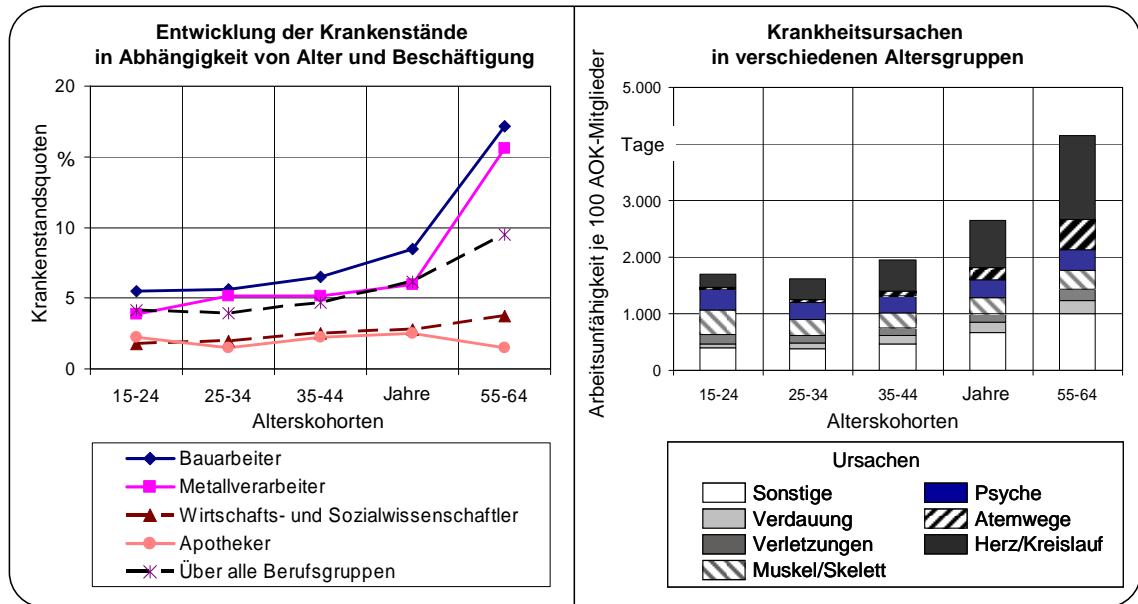


Abbildung 9: Entwicklung von Krankenständen (hier: ärztlich attestierte und der Krankenkasse gemeldete Arbeitsunfähigkeit) verschiedener Berufsgruppen und Ursachen der Arbeitsunfähigkeit in Abhängigkeit vom Lebensalter (Datenquelle: VETTER 2003)

Neben dem Baugewerbe und Teilen des Dienstleistungssektors (mit vorwiegend körperlichen Arbeitstätigkeiten wie z. B. in der Gastronomie, den Pflegediensten oder bei Möbelpackern) steigt vor allem unter den Beschäftigten des verarbeitenden/produzierenden Gewerbes der Krankenstand mit dem Alter auf teilweise über 20 % an (siehe Metallverarbeiter in Abbildung 9; vgl. HEYDE U. A. 2009). Die Montage ist aufgrund der physisch dominierten Belastungen überdurchschnittlich stark betroffen. Detaillierte Zahlen hierzu fehlen jedoch, da die Auswertungen der Krankenversicherer nicht nach Bereichen innerhalb von Unternehmen differenzieren können.

Ab einer Dauer der Arbeitsunfähigkeit von mehr als sechs Monaten und einer Beschränkung auf bestimmte Arbeitsplätze wird von einem „leistungsgewandelten Mitarbeiter“ gesprochen. In der Regel hat dieser aufgrund „seines Alters, altersbedingten Verschleißes oder genetischer Ursachen relevante Veränderungen in seiner beruflichen Leistungsfähigkeit erfahren“ (SCHRADER U. A. 1995, S. 13). Das Wort „Wandlung“ trägt der Vielschichtigkeit altersbedingter Veränderungen und deren unterschiedlichen Auswirkungen auf die menschliche Leistung im Zusammenspiel von sachlichen und personellen Leistungsvoraussetzungen Rechnung (vergleiche Tabelle 2 und Abschnitt 2.4.3). Nach der Neufassung des Sozialgesetzbuches besteht für die Betroffenen ein Anspruch auf Weiterbeschäftigung beziehungsweise Wiedereingliederung. Das kann einen schrittweisen Ein-

stieg zur Wiederherstellung der Belastbarkeit erfordern oder die Bereitstellung eines alternativen, einschränkungsgerechten Arbeitsplatzes (SOZIALGESETZBUCH IX 2006). Häufig werden unter dem rechtlich nicht streng abgegrenzten Begriff der „Leistungsgewandelten“ auch deutlich unterdurchschnittlich belastbare, wenig begabte oder motivierte bzw. unengagierte Mitarbeiter verstanden, welche trotz aller Auswahl- und Förderungsmaßnahmen in jedem Unternehmen vertreten sind (SCHRADER U. A. 1995, SCHÜHLEIN 1997).

3.3 Entwicklung und Überblick

3.3.1 Anfänge in der Schwerindustrie

Die Themen der *alternden Belegschaften* und des Umgangs mit *leistungsgewandelten Mitarbeitern* entstammen im Wesentlichen der arbeitswissenschaftlichen Forschung und Diskussion um den „Wandel der Arbeitswelt durch Technik“ und die „Humanisierung des Arbeitslebens“ (RKW 1970, BULLINGER U. A. 1992, HAINKE 1995). Im Rahmen der Analyse der gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Veränderungen wurde auch die demografische Entwicklung der Erwerbsbevölkerung näher betrachtet und erstmals der Handlungsbedarf offensichtlich. Der Nutzen einer weitergehenden Ergonomiesteigerung speziell für die Beschäftigung älterer Mitarbeiter wurde zuerst in der Schwerindustrie, v. a. der Rohstoffgewinnung und -verarbeitung mit ihren überdurchschnittlich hohen körperlichen Beanspruchungen der Mitarbeiter bzgl. Kraft und Leistung, erkannt (SCHRADER U. A. 1995). Verbesserungspotenziale boten im Einzelnen

- die stärkere Beachtung des Funktionsraumes der menschlichen Extremitäten,
- die Beseitigung räumlicher Behinderungen und die Verbesserung der Zugänglichkeit zum Arbeitsplatz sowie zu den Stellteilen,
- die Verbesserung der Sichtgeometrie (zum Arbeitsobjekt und zu Anzeigen),
- die Reduzierung der Betätigungskräfte an Stellteilen,
- der Einsatz von Manipulatoren und Hebevorrichtungen,
- die Schulung und Unterweisung der Mitarbeiter über gesundheitsförderliches Arbeiten und

- der Schutz vor belastenden Umgebungseinflüssen (v. a. Hitze und Staub) durch Abschirmung oder Telemanipulation

(nach eigener Zusammenstellung der wesentlichen/wiederkehrenden Gestaltungsparameter aus den Praxisberichten; vgl. BULLINGER U. A. 1992, SCHRADER U. A. 1995, GUSSONE U. A. 1999).

3.3.2 Übertragung und Weiterentwicklung im Verarbeitenden Gewerbe

Für die Montage speziell in der Automobilindustrie wurden die arbeitswissenschaftlichen Erkenntnisse von HELL U. A. (1985) in einem „Leitfaden zur präventiven und korrektiven Arbeitsplatzgestaltung“ zusammengeführt. Unter anderem werden die spezifischen Belastungen durch Heben und Tragen, durch Überkopfarbeit, durch Arbeiten im Knien und durch die Tätigkeitsweise (Stehen, Gehen, Sitzen) jeweils in eigenen Kapiteln behandelt. In kurzen Merksätzen werden die wesentlichen/allgemeingültigen Gestaltungsparameter samt tabellarischen Richt- und Höchstwerten (für Maße, Kräfte und Zeiten) sowie die gängigsten technisch-organisatorischen Maßnahmen zur Belastungsminimierung genannt. Zusätzlich wurden aus einem Abgleich der Belastungen von 350 detailliert untersuchten Arbeitsplätzen mit den arbeitsmedizinisch induzierten Einschränkungen von 220 leistungsgewandelten und behinderten Mitarbeitern Empfehlungen für deren Integration abgeleitet. Alle Hinweise und Empfehlungen wirken präventiv und korrektiv, das heißt sie nutzen sowohl jungen als auch älteren Mitarbeitern. Daher wird bezüglich des Alters nicht weiter differenziert, mit Ausnahme des Hinweises bei aufgetretener Leistungswandlung die Arbeitsplatzergonomie zu überprüfen und gegebenenfalls weiter zu optimieren oder einen anderweitigen Ausgleich (i. d. R. über die Beschäftigung an einem anderen Arbeitsplatz) herbeizuführen.

In einer breit angelegten Evaluierung der Montage für das vom BMBF aufgelegte Forschungsprogramm „Arbeit und Technik“ konstatiert SEITZ (1992), dass neben der physischen Entlastung der Mitarbeiter durch eine ergonomische Arbeitsplatzgestaltung und teilweise Automatisierung (im Fokus des Vorgängerprogramms „Humanisierung des Arbeitslebens“, siehe Abschnitt 3.3.1) vor allem die Wahl der Organisationsform den Charakter der Arbeit bestimmt und gleichzeitig Potenzial zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit bietet (SEITZ 1992, S. 7 f.). PACK & BUCK (1992) entwarfen dafür auch vor dem Hintergrund der lean production das Konzept der lern- und qualifikationsförderlichen Gruppenarbeit, im Sinne

einer „neo-tayloristischen“ Arbeitsorganisation, wofür BARBEY U. A. (1992) die Technikgestaltung detaillierten. Die Bereicherung, Erweiterung und freiere Wählbarkeit der Arbeitsinhalte innerhalb des Einflussbereiches einer Gruppe erhöhen die individuellen Gestaltungsspielräume für die Mitarbeiter und bieten damit älteren oder leistungsgewandelten Mitarbeitern neue bzw. größere Einsatzmöglichkeiten (BUCK 1996, BUCK & REIF 1997, ZÄH U. A. 2002, ZÄH U. A. 2004A). Die Zusammenstellung von altersgemischten Gruppen fördert zudem den Wissens- und Erfahrungsaustausch von „Alt und Jung“ und damit die Innovationsfähigkeit des Unternehmens (ÜPPING U. A. 1997, WOLLERT 1998, ADENAUER 2002). Für die älteren Mitarbeiter wird durch ein neues Gefühl des „Gebraucht-Werdens“ die Zufriedenheit und Motivation gesteigert (ADENAUER 2002, HEGNER 2002, HACKER U. A. 2005). Dazu ist jedoch die Bereitschaft notwendig, neue altersdifferenzierende Führungs-, Qualifizierungs- und Entlohnungsstrategien zu etablieren und entsprechend im Unternehmensleitbild und der Organisation zu verankern (HERRMANN 2008, NYHUIS U. A. 2004, SEDLATSCHKE & THIEHOFF 2004, ZÄH U. A. 2003, SPATH & BRAUN 2003, HUBER 2002, ENGELSTÄDTER & KRAFT 1998).

3.3.3 Berücksichtigung der menschlichen Alterung in der Produktentwicklung

Von Seiten der Wirtschaft wurde aufgrund des Zwangs zur Erschließung neuer Märkte (siehe Kapitel 1) in erster Linie die Entwicklung altersgerechter Produkte vorangetrieben. Von wissenschaftlicher Seite wurden dazu die arbeitsmedizinischen Erkenntnisse zum menschlichen Altern in Gestaltungsregeln für altersadäquate Produkte überführt (BIERMANN & WEIBMANTEL 1995). In jüngeren Forschungsverbänden, wie dem von der DFG geförderten SENTHA-Projekt oder dem im Rahmen der „High-Tech Offensive Bayern“ geförderten „Generation Research Program“ (GRP), wird die Quantifizierung und Klassifizierung menschlicher Alterungsprozesse gezielt für die Entwicklung altersgerechter Produkte und Dienstleistungen weiter vorangetrieben. Die automatisierungstechnischen Entwicklungen sollen Senioren helfen, ihren Alltag nach dem Erwerbsleben länger selbstständig zu bewältigen (MOLLENKOPF U. A. 2000, WITTMANN 2002). Die Forschungsziele sind ebenso wie die bereits vorliegenden Ergebnisse eindeutig dem Bereich der Produktergonomie zuzuordnen und nicht direkt für die Arbeitswissenschaft im engeren Sinn nutzbar. Vielmehr basieren die definierten

Gestaltungsregeln auf den Vorarbeiten der Produktionsergonomie und zur menschengerechten Arbeitsgestaltung (siehe Abschnitte 2.5.5, 2.5.6 und 3.3.2).

3.3.4 Erweiterung der Handlungsfelder und Wissenstransfer

Die umfassendste Untersuchung über die Bedeutung und Auswirkung des demografischen Wandels wurde für Deutschland von der Enquête-Kommission „Demografischer Wandel – Herausforderungen unserer älter werdenden Gesellschaft an den Einzelnen und die Politik“ aus der 12. Wahlperiode des Deutschen Bundestages durchgeführt. Die Handlungsempfehlungen richten sich auch an die Privatwirtschaft und fordern entsprechend den Erkenntnissen der verschiedenen Pilotprojekte (siehe 3.3.2) einen Paradigmenwechsel unter anderem in der Unternehmensorganisation und der Personalpolitik durch

- eine Institutionalisierung von lebenslangem Lernen durch kontinuierliche Vermittlung von arbeitsplatzbezogenen wie -übergreifenden Qualifikationen,
- die zugehörige Schaffung einer lernfördernden Arbeitsplatzorganisation und -gestaltung mit einer systematischen Planung von Lernprozessen und Berufslaufbahnen, welche das Alter(n) mitberücksichtigen,
- den Ausbau der präventiven Gesundheitsförderung mit einer Ausweitung des betrieblichen Arbeits- und Gesundheitsschutzes sowie
- die Sensibilisierung wichtiger betrieblicher und überbetrieblicher Akteure sowie die Schaffung einer demografiesensiblen Unternehmenskultur unter Berücksichtigung von Branchen- und Betriebsgrößenunterschieden (LINK 2002).

Der gegenwärtige arbeitswissenschaftliche Forschungsfokus liegt dementsprechend im Bereich der organisatorischen Verankerung präventiver Gesundheitsschutzmaßnahmen, der Untersuchung neuer Tätigkeitsfelder für Ältere, dem inner- und überbetrieblichen Wissenstransfer und dem Nachweis der Wirtschaftlichkeit solcher Maßnahmen (z. B. ZAHN-ELLIOTT 2005, KOPSKE & HOMANN 2006, FRIELING 2006, SCHRAUB U. A. 2009). Eine sehr umfassende Auflistung und Beschreibung der weltweiten Demografie-Forschungsaktivitäten bietet KÖLLNER (2005).

Im Rahmen des aktuellen Forschungsverbundes „Fit for Age“ der Bayerischen Forschungstiftung (FIT4AGE 2008) erfolgt erstmals eine umfassende parallele

Erforschung von altersgerechten Produkten und Dienstleistungen. Aufgegriffen werden die Themenfelder „Menschen leben länger selbstbestimmt“, „Menschen bleiben länger mobil“, „Menschen bleiben länger im Arbeitsleben“, „Beratung und Evaluation von altersgerechten Technologien“ und „Berücksichtigung von typischen altersbedingten Leistungseinschränkungen in der Produktentwicklung“. Der Schwerpunkt in der produktionstechnischen Erforschung liegt neben der Nutzung neuer technischer Hilfsmittel ebenfalls stark auf organisatorischen Lösungen (REINHART U. A. 2006, REINHART U. A. 2008, DOMBROWSKI U. A. 2008).

Für den Austausch von Erfahrungen und Erkenntnissen sowie den Wissenstransfer zwischen Forschung, Politik und Wirtschaft wurde eine Reihe übergreifender Internet- und Kongressplattformen wie „demotrans“, „inqa“ und „Das Demographie Netzwerk“ (ddn) auf nationaler Ebene sowie „CICRED“ und die „World Demographic Association“ (WDA) auf internationaler Ebene eingerichtet (DEMOTRANS 2009, INQA 2009, DDN 2009, CICRED 2009, WDA 2009).

3.4 Alter(n)sgerechte Arbeitsgestaltung und -organisation

Eine *alter(n)sgerechte Arbeitsgestaltung* beachtet neben den Erkenntnissen der Ergonomie speziell die Anforderungen und Bedürfnisse älterer Mitarbeiter. Ziel ist es, arbeitsbedingte Krankheitsursachen zu eliminieren, Überforderung zu vermeiden und langfristig die volle Gesundheit und Arbeitsfähigkeit der Mitarbeiter zu erhalten. Als Grundlage für die alter(n)sgerechte Arbeitsgestaltung in der Montage werden in Tabelle 3 die Gestaltungsziele von HELL U. A. (1985) (siehe auch vorangegangener Abschnitt) zusammengefasst. Zum Vergleich werden, soweit vorhanden, normative Empfehlungen, beispielsweise der Berufsgenossenschaften, gegenübergestellt. Der Leitfaden von HELL U. A. (1985) wurde auch in eine Arbeitsplatzanalysesoftware überführt, um Neu- und Umplanungen systematisch zu unterstützen (siehe nachfolgender Abschnitt 3.5.2). Ähnliche Empfehlungen und Gestaltungsziele entstanden in mehreren Unternehmen und Forschungseinrichtungen gleichzeitig beziehungsweise wurden dort weiterentwickelt oder an spezifische Belastungsprofile angepasst (z. B. ILMARINEN & TEMPEL 2002, ZÄH U. A. 2004A, FERGUSON U. A. 2004, BELWAL & HAIGHT 2005).

3.4 Alter(n)sgerechte Arbeitsgestaltung und -organisation

NR.	GESTALTUNGS- BEREICH	PRÄVENTIVE & KORREKTIVE MAXIMALBELASTUNG	ARBEITSSCHUTZRECHTLICH EMPFOHLENER GRENZWERT NACH VBMG (2005)
1	Heben und Tragen	Höchstens gelegentlich Lasten < 8 kg	20 kg für Männer und 10 kg für Frauen in körpernaher Haltung dauerhaft zulässig
2	Körperkräfte	< 100 N im Stehen < 50 N im Sitzen	In Abhängigkeit von Geschlecht, Häufigkeit und Körperhaltung einhändig bis zu 200 N oder mehr
3	Überkopfarbeit	Nur gelegentlich mit Kräften < 10 N	Kräfte zulässig (Werte in DIN 33 411-5 (1999) dargelegt); entsprechendes Pausenregime vorsehen
4	Bewegungstechnik	Anatomische Endstellungen von Gelenken grundsätzlich vermeiden: Greifwege < 60 cm & Greifhöhe > 56 cm	Keine Einschränkungen und Hinweise
5	Tätigkeitsweise	Wechseltätigkeit von Stehen, Gehen, Sitzen vorsehen (jeweils min. 10 % Zeitanteil) ohne Zwangshaltungen	Keine Einschränkungen; Hinweis auf Arbeitsplatzgestaltung nach DIN 33 406 (1988)
6	Arbeiten im Knien	Nicht zulässig	Geringe Kräfte zulässig; Hinweis auf Schutzmaßnahmen
7	Geräuschbelastung	< 85 dB (A) Nutzung von Gehörschutz	< 85 dB (A) Nutzung von Gehörschutz
8	Beleuchtung	Gleichmäßige und ausreichende Ausleuchtung des Nah- und Fernbereichs	Ca. 500 Lux gleichmäßig (bei höheren Anforderungen an die optische Wahrnehmung bis zu 1.500 Lux)
9	Vibrationen	Ganzkörperschwingungen und Einwirkung auf Hand-Arm-System eliminieren	Einhaltung der Richtkurve nach VDI 2057-3 (2006)
10	Klima	Möglichst stabil im Behaglichkeitsbereich (ca. 20 °C)	Ca. 18 °C bei ca. 50 % Luftfeuchtigkeit
11	Stäube	Nicht zulässig	Einhaltung der MAK-Werte
12	Gase und Dämpfe	Nicht zulässig	Einhaltung der MAK-Werte

Tabelle 3: Vorschläge und Anhaltswerte zur präventiven und korrekativen Arbeitsgestaltung und Arbeitsplatzauslegung in Anlehnung an HELL U. A. (1985) sowie normativ verbindliche Vergleichswerte, soweit nicht anders angegeben nach VBMG (2005)

Als Ergänzung zum Leitfaden von HELL U. A. (1985) stellen FRIEDRICH (1986) und MOHRLANG (2005) umfangreiche Beispiele für altersadäquate Arbeitsplätze vor, die entsprechend den Anweisungen aus Tabelle 3 konzipiert wurden. Für die altersgerechte Montagegestaltung können folgende Hinweise verallgemeinert werden (vgl. TÄUBERT & REIF 1997, S. 107 f.; BUCK U. A. 1996, S. 417):

- Zur Vermeidung von Zwangs- und Fehlhaltungen sind an stationären Arbeitsplätzen grundsätzlich höhenverstellbare Arbeitsstühle mit ebenfalls höhenverstellbaren Fußstützen für einen Wechsel zwischen Stehen und Sitzen vorzusehen (siehe Abbildung 10 a).
- Für feinmotorische Tätigkeiten im Sitzen sind, soweit möglich, einstellbare Armauflagen am Arbeitstisch anzubringen, um statische Haltearbeit zu vermeiden.
- An bewegten Arbeitsplätzen ist zur Haltungsoptimierung die (individuelle) Höheneinstellbarkeit über die Fördermittel zu realisieren, z. B. mittels verstellbarer Elektro-Hängebahnen oder Schubplattenförderern mit Scherenhubtischen (siehe Abbildung 10 b).
- Zur Vermeidung von Überkopfarbeit sind an bewegten Arbeitsplätzen die Fördermittel zusätzlich schwenkbar auszuführen, wenn das Montageobjekt dies zulässt (siehe Abbildung 10 c). An stationären Arbeitsplätzen sind höhen- und neigungsverstellbare Werkstückaufnahmen anzubringen.
- Wenn möglich sind an geeigneter Stelle auch an bewegten Arbeitsplätzen höhenverstellbare Rollen-Arbeitsstühle mit seitlichen Werkzeug- und Bauteilablagen bereitzustellen. Die Sitzfläche und ggf. die Rückenlehne sind hinsichtlich der Tätigkeit und dem nötigen Bewegungsfreiraum zu optimieren (und z. B. nur als einfacher Fahrradsattel auszuführen; siehe Abbildung 10 c).
- Zur Lastreduzierung sind sämtliche Werkzeuge (an Federzügen) gewichtsentslastend aufzuhängen. An bewegten Arbeitsplätzen sind zusätzlich Tragarmausleger vorzusehen.
- Zur Bewegungsreduzierung sollte die Bauteilbereitstellung bedarfs- und fügenrichtig in Magazinen, mittels mechanisierten Zubringeinrichtungen oder zumindest in kleinen Gebinden erfolgen.
- Bei Bauteilbereitstellung in großen Transportgebinden (z. B. Euro-Gitterboxen) ist, wo möglich, eine erhöhte und geneigte Aufstellung zu wäh-

len. Zur Sicherung der Bauteile sind die Trennlagen als Gummimatten oder Formnester auszuführen (siehe Abbildung 10 d).

- Für die Zuführung schwerer Bauteile (> 20 kg) sind Manipulatoren (im Folgenden auch Handhabungshilfsmittel genannt) zu verwenden. Die Steuerung übernimmt der Mitarbeiter, während z. B. über eine Seilwinde die Bewegung ausgeführt und über einen Greifer die Last aufgenommen wird.
- Zur Reduzierung des gefühlten Zeitdrucks sind ausreichende Pufferstrecken mit automatischem Werkstücktransfer vorzusehen. Die psychische Belastung kann zudem durch eine Entzerrung der Werkerinteraktion gemindert werden (siehe Abbildung 10 b).
- Für die Gestaltung und Auslegung von Stellteilen, Werkzeugen und Anzeigen sei auf die Regeln von BIERMANN & WEIßMANTEL (1995) und die Richtlinien von VBMG (2005) verwiesen. Bedeutend ist vor allem eine auffällige Farbwahl und ausreichende Größe.

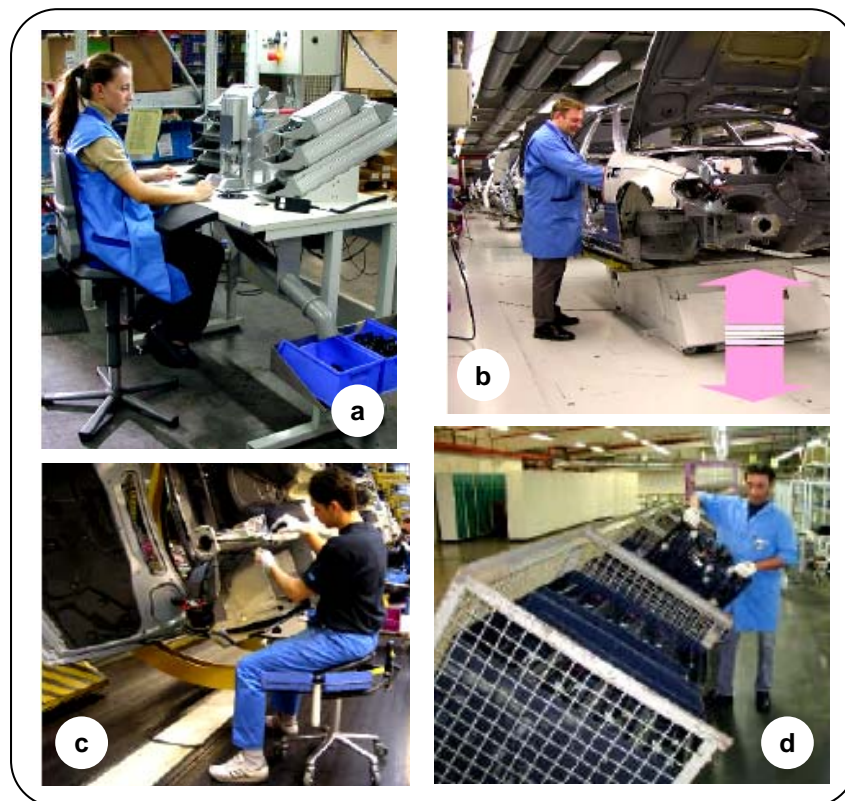


Abbildung 10: Beispiele ergonomischer und altersadäquater Arbeitsplatzgestaltung in der Serienmontage (Bildquelle: MOHRLANG 2005)

BUCK U. A. (1996), TÄUBERT & REIF (1997) sowie ILMARINEN & TEMPEL (2002) betonen darüber hinaus die Bedeutung organisatorisch-struktureller Maßnahmen für die Alterseignung von Montagearbeitsplätzen und die Vermeidung von berufsbedingten Leistungswandlungen. Nach TÄUBERT & REIF (1997, S. 69) sind Montageorganisationsformen *grundsätzlich abzulehnen*, wenn

- ein umfassender Belastungswechsel zwischen den verschiedenen Arten der Muskelarbeit sowie auch zwischen geistigen und körperlichen Tätigkeiten mit unterschiedlicher Anforderungshöhe ausgeschlossen ist,
- überdurchschnittliche Wahrnehmungsleistungen gefordert sind,
- großer Zeitdruck herrscht und die Arbeitsleistung nicht individuell erbracht werden kann,
- große/schwere Lasten, hohe Haltekräfte oder unnatürliche Körperhaltungen auftreten,
- überdurchschnittlicher Trainingseinfluss notwendig ist oder
- ungünstige Umgebungsbedingungen und Schichtarbeit vorliegen.

Dementsprechend eignet sich für ältere Mitarbeiter vor allem ein Einsatz in lose gekoppelten Fließmontagen mit stationären Arbeitsplätzen, die häufig gewechselt werden, ebenso in Montageinseln mit umfangreichen Arbeitsinhalten, die in selbstorganisierter Gruppenarbeit erledigt werden. Zudem ist die *Anpassung des Menschen an die Arbeit* im Sinne der Verhaltensergonomie durch das regelmäßige und verpflichtende Angebot von Hebe- und Tragetrainings, Greiftraining, Methodentraining, Rückenschule, Sitzschule und Ausgleichsgymnastik zu fördern. Speziell die strukturellen Maßnahmen sind rückwirkend kaum oder nur mit unverhältnismäßig hohem finanziellem Aufwand umzusetzen. TÄUBERT & REIF (1997) schlagen daher eine grundsätzliche Überprüfung aller Montagesystemplanungsprojekte auf die *Alterseignung* vor. Mit einer zweistufigen Checkliste werden zunächst die abzulehnenden Ausprägungen der Montageorganisationsform und Arbeitsplatzgestaltung (siehe oben) abgefragt. Sind nicht alle Ablehnungskriterien ausgeschlossen, werden mögliche Gestaltungsparameter und deren Wirkung auf ältere Mitarbeiter benannt und beispielhafte technische, organisatorische oder personenbezogene Abhilfemaßnahmen vorgeschlagen.

Die größte Wirkung erzielen altersadäquate Montageorganisations- und Gruppenarbeitsstrukturen dann, wenn sie auch auf eine entsprechend angepasste

Technikgestaltung zurückgreifen können. Parallele Stationen ermöglichen dem einzelnen Werker oder der Gruppe eine individuelle Leistungsabgabe und dem Unternehmen das volle Ausschöpfen der menschlichen Leistungsfähigkeit (BULLINGER U. A. 1997). Ohne technische Unterstützung entstehen dabei aber gerade durch den Werkstücktransfer, die Bauteilbereitstellung oder auch das Rüsten punktuell stark erhöhte Belastungen. Eine zugleich wirtschaftliche und altersförderliche Automatisierungsstrategie mittels flexiblen Werkstückträgertransfersystemen, Schnellwechselkomponenten usw. kann gezielt abhelfen. Um Informationsfluss und -verarbeitung mitarbeitergerecht zu steuern, wird eher pauschal eine umfangreiche Verwendung von informationstechnischen Hilfsmitteln empfohlen (BARBEY U. A. 1992, BELWAL & HAIGHT 2005).

GUSSONE U. A. (1999, S. 119 ff.) unterscheiden vier Arten von Maßnahmen zur altersgerechten Arbeitsgestaltung, die aufeinander aufbauen: 1. Gestaltung der Arbeitstätigkeit; 2. Aufgabenverteilung/Gruppenarbeit; 3. Laufbahngestaltung; 4. Arbeitszeitgestaltung. Nur durch die bewusste und differenzierte Nutzung der unterschiedlichen Strategien kann altersgerechte Arbeit auch wirtschaftlich gestaltet werden. Der Schwerpunkt der Ausführungen liegt auf organisatorischen Maßnahmen zur Laufbahnplanung sowie zur Arbeitszeitgestaltung, für welche auch die arbeitsrechtlichen Hintergründe erläutert werden. GUSSONE U. A. (1999) empfehlen die Nutzung der Arbeitskraft ganzheitlich, d. h. über das gesamte Erwerbsleben hinweg, zu betrachten. Dem Mitarbeiter sollte die Möglichkeit gegeben werden, sich in jüngeren Jahren durch Mehrarbeit ein (verzinstes) Arbeitszeitguthaben aufzubauen. Neben der Arbeitszeit- und damit Belastungsreduzierung im Alter kann das Zeitguthaben auch für eine freiere Einteilbarkeit oder langsamere Ausführung der Arbeit oder zur schrittweisen Wiedereingliederung genutzt werden (ENGELSTÄDTER & KRAFT 1998).

Eine Weiterentwicklung zu TÄUBERT & REIF (1997) sowie eine Ergänzung zu GUSSONE U. A. (1999) stellt die Arbeit von REIF & BUCK (2009) dar, in der speziell die Innovationsförderlichkeit einer altersgerechten Arbeitsgestaltung beleuchtet wird. Langjährige und damit meist ältere Mitarbeiter verfügen über ein umfangreiches Erfahrungswissen, das sie für planerische Tätigkeitsanteile prädestiniert. Sie können ganzheitliche Arbeitsinhalte bearbeiten und verfügen meist über eine hohe Kommunikations- und Kooperationsfähigkeit (REIF & BUCK 2003, S. 151). Voraussetzung ist jedoch ein lebenslanger Erhalt der Leistungsfähigkeit. Das erfordert eine ständige Inanspruchnahme der einzelnen Fähigkeiten ohne permanente Überforderung einzelner Bereiche. Bildung und Ausbildung sind nur durch kurzzyklische Weiterbildungsmaßnahmen und ständige Lernan-

forderungen im Arbeitsprozess zu erhalten. Die ergonomische Arbeitsgestaltung stellt eine zwingende Voraussetzung zur ganzheitlichen Erhaltung der Gesundheit dar. Nur ständige Kommunikation und Kooperation trainieren die sozialen Kompetenzen. Zur Aufrechterhaltung der Motivation bis zum Renteneintritt sind neben vertikalen Karrieren, die vor allem in den direkten Bereichen nur wenigen vorbehalten sind, horizontale Karrieren zu etablieren. Das erfordert neben einer altersadäquaten Montageorganisationsform (siehe oben) auch die Berücksichtigung altersergonomischer Aspekte in der Produktentwicklung, u. a. bzgl. Abmessungen, Massen und Zugänglichkeiten von zu bearbeitenden Bauteilen und Modulen sowie der Auftragsabwicklung (REIF & BUCK 2003, S. 73 ff.). Neben einer Reduzierung von Belastungen (siehe Tabelle 3) bedeutet eine alter(n)sgerechte Montagegestaltung in erster Linie eine konsequente Anwendung arbeitswissenschaftlicher Erkenntnisse in allen Bereichen der betrieblichen Planung (FRIELING 2007).

3.5 Spezielle Maßnahmen zur Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter

3.5.1 Allgemeines

Auch eine alter(n)sgerechte Arbeitsgestaltung allein kann gesundheitliche Beeinträchtigungen und folglich das Auftreten leistungsgewandelter Mitarbeiter nicht vollständig ausschließen. Aufgrund der komplexen Wirkbeziehungen zwischen äußerer Belastung und resultierender Beanspruchung des Individuums (siehe Abschnitt 2.5.2) ist es schwierig, Fehlbelastung und deren Kumulation im Einzelfall durch Prävention vollständig zu vermeiden. Zudem resultieren negative Einflüsse auf die Arbeitsfähigkeit auch aus dem Privatleben der jeweiligen Person, beispielsweise infolge von Unfällen, von Überbeanspruchungen durch einseitige sportliche Belastungen sowie durch ungesunde Lebensgewohnheiten. Gemäß der Definition sind leistungsgewandelte Mitarbeiter am richtigen Arbeitsplatz durchaus voll leistungsfähig. Dementsprechend fokussieren sich bestehende Maßnahmen zur Integration und Weiterbeschäftigung in erster Linie auf die Arbeitsumverteilung und Umversetzung.

In Kleinbetrieben, in denen dem Betriebsleiter sowohl die Arbeitsplätze als auch die Mitarbeiter vollständig bekannt sind, ist eine anforderungs- und altersgerechte Arbeitsplatzvergabe in der Regel selbstverständlich und wird zumeist erfah-

rungsbasiert vorgenommen. Leistungsgewandelte Arbeitnehmer wenden sich mit ihren Beschwerden an den zuständigen Vorgesetzten, der nach eigener Beurteilung gemeinsam mit dem Betroffenen nach einer alternativen Beschäftigung sucht. Der Anstoß kann auch von Seiten der Verantwortlichen kommen, wenn beispielsweise unzureichende Arbeitsleistungen erbracht und als Ursache gesundheitliche Beeinträchtigungen erkannt werden.

Die ersten umfassenden Regelungen und Systeme für Großbetriebe mit komplexen, arbeitsteiligen Strukturen stammen aus der Schwerindustrie beziehungsweise aus dem Bergbau, wo zusätzlich zur Handhabung schwerer Werkzeuge und Werkstücke vor allem dauerhaft leistungsmindernde Einflüsse wie fehlendes Tageslicht, Schichtbetrieb, mangelnde Durchlüftung sowie erhöhte Staub- und Lärmbelastungen technisch nicht eliminierbar sind (SCHRADER U. A. 1995). Für Montagearbeitsplätze wurde erstmals von der Firma BMW im Zuge des BMBF-geförderten Rahmenprogramms „Humanisierung des Arbeitslebens“ ein wissenschaftlich fundiertes System zur *Anforderungs- und Belastbarkeitsanalyse* (ABA) etabliert, das seitdem kontinuierlich weiterentwickelt wird (FRIEDRICH 1986, ARBEITSKREIS ERGONOMIE 2002). Derartige *Profilvergleichssysteme* ersetzen die unstrukturierte einzelfallbezogene Beurteilung der Eignung eines Arbeitsplatzes für einen bestimmten Mitarbeiter durch definierte Kriterien und Abfragen, mit denen medizinische Einschränkungen anonymisiert auf Arbeitsplatzanforderungen übertragen werden können.

3.5.2 Profilvergleich mittels Anforderungs- und Belastbarkeits-Analyse (ABA)

Die Grundlage des ABA-Systems bilden (ausgehend von ursprünglich 12 Merkmalen) inzwischen 19 Merkmale, mit denen sich die Belastung an Montagearbeitsplätzen nach Höhe und Dauer einfach quantifizieren lässt (MOHRLANG 2005, ARBEITSKREIS ERGONOMIE 2002, FRIEDRICH 1986). Für die Auswahl der Merkmale wurden zunächst branchenübergreifende Vergleichsstudien und Expertengespräche durchgeführt, um Korrelationen zwischen arbeitsspezifischen Belastungen und dem Auftreten von Leistungswandlungen zu ermitteln. Die Befragungen bestätigten die vermutete Korrelation von einseitigen Langzeitbelastungen und Leistungsminderungen in der Montage. Daraufhin wurden ca. 350 Arbeitsplätze in verschiedenen Werken und Montagebereichen mit unterschiedlichen Mitteln zur Ergonomiebeurteilung untersucht. Neben der Mitarbeiterbefragung über Beschwerden, mögliche Ursachen und störende Einflüsse kam vor

allem die Mitarbeiterbeobachtung mit anschließender Haltungsanalyse zum Einsatz. Dabei werden die auftretenden Lasten und Kräfte gemessen und die Wege beziehungsweise Bewegungen dokumentiert. Anschließend werden die resultierenden Körperhaltungen nach der OWAS-Methode mit den zulässigen Belastungsgrenzwerten abgeglichen (siehe Abschnitte 2.5.5 und 3.4). Um den Aufwand für weitere Arbeitsplatzbewertungen zu reduzieren, wurden aus den gesamten Auswertungen 19 belastende Merkmale extrahiert. Zusammen mit einer einfachen prozentualen Abschätzung des jeweiligen Zeitanteils erlauben sie eine ausreichend genaue Bewertung der am Arbeitsplatz auftretenden Belastungen. Gefährdungen werden erkennbar und effiziente Handlungen ableitbar.

Die Arbeitsplatzbewertung wird in der Regel vom Planer oder vom Ergonomiebeauftragten im Rahmen einer Begehung, unter Zuhilfenahme bestehender Arbeitsvorgangsbeschreibungen, durchgeführt. Die Dokumentation der Ergebnisse erfolgt tabellarisch in Papierform oder direkt am PC. Nach einem definierten Berechnungsschema wird ein so genannter *Ergonomie-Bewertungs-Index* (EBI mit Werten von 1 bis 100) errechnet. Aufgrund der besonderen Bedeutung wird für das *Heben und Tragen von Lasten* separat eine *Risikozahl* (RKZ mit Werten von 1 bis 100) nach Empfehlung des Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (PERNACK U. A. 2001) erhoben, welche neben der Last auch die Zeit/Häufigkeit, die Haltung und die Ausführungsbedingungen mit berücksichtigt. Der zugehörige Erhebungsbogen ist im Anhang in Abschnitt 10.1 aufgeführt. Für einen einfachen Überblick über die Arbeitsplatzergonomie ist für jedes Merkmal die Einwirkungshöhe/-dauer in Anlehnung an eine Ampelschaltung in eine grüne, gelbe und rote Zone eingeteilt. Im Sinne einer ergonomischen Arbeitsgestaltung gilt es alle Einzelmerkmale und den EBI im grünen Bereich, d. h. < 25 Punkte, zu halten. Gelbe Merkmale geben einen Hinweis auf Optimierungspotenzial, können aber in begründeten Fällen belassen werden, so lange der EBI grün ist. Für rote Merkmale beziehungsweise Lastfälle sind im Sinne der Prävention sofortige Abhilfemaßnahmen zu schaffen, um eine mögliche Gesundheitsgefährdung der Mitarbeiter auszuschließen. Für neu geplante Arbeitsplätze ist das Bewertungsverfahren verpflichtend vorgeschrieben.

Für die Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter führt der Betriebsarzt unter Zustimmung des/der Betroffenen und des Betriebsrates eine arbeitsmedizinische Untersuchung durch und ermittelt Einsatzbeschränkungen. Diese Einschränkungen werden ebenfalls in Form der 19 Merkmale erfasst. Der Arzt entscheidet aufgrund eines medizinischen Befundes, welche Belastungen ab welcher Höhe und Dauer zeitweise während der Wiedereingliederung oder dauerhaft vermieden

werden müssen. Daraus wird ein *Leistungsprofil* des Mitarbeiters erstellt, das ebenso wie die *Anforderungsprofile* zu den Arbeitsplätzen und wie die Stammdaten (wie Meistergruppe, Qualifikation, Entlohnung und Arbeitszeitregelungen) in einer Datenbank abgelegt wird. Mittels eines Interferenzmoduls können dann für jeden leistungsgewandelten Mitarbeiter durch den Abgleich von Leistungs- und Anforderungsprofilen geeignete Arbeitsplätze identifiziert werden (siehe Abbildung 11).

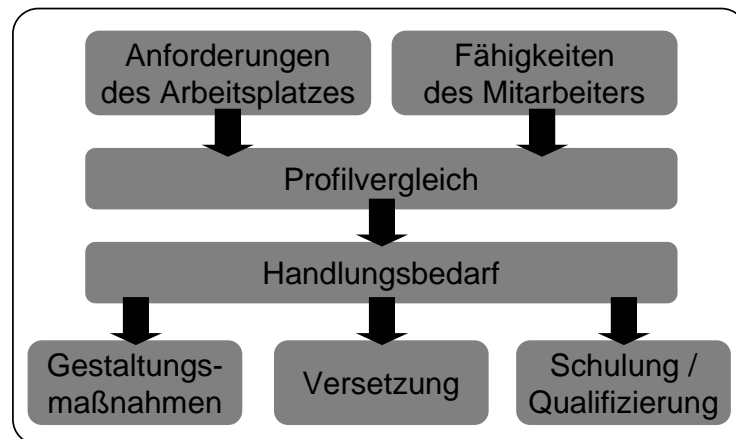


Abbildung 11: Vorgehensweise zur Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter mittels Profilvergleich (ZÄH U. A. 2004A, ADENAUER 2004)

Die Suche erfolgt zunächst innerhalb der Meistergruppe des Betroffenen und erst danach in der übergeordneten Gruppe beziehungsweise im Produktionsbereich und schließlich im gesamten Werk. Die Verantwortung zur Integration trägt die eigene Gruppe, die von einem Integrationsteam unterstützt wird. Neben der Bereitstellung spezifischer Kompetenzen (z. B. bzgl. ergonomischer Arbeitsplatzgestaltung) und eines Überblicks über verschiedene Bereiche stellt dieses Team auch Vertrauenspersonen (MAGIN 2004). Ähnliche Systeme und Vorgehensweisen (z. B. IMBA, als Verfahren zur Integration von Menschen mit Behinderungen in die Arbeitswelt) etablieren sich zunehmend in der Industrie (ADENAUER 2004). Entscheidend für eine effiziente und umfassende Integration leistungsgewandelter Arbeitnehmer ist die Einbettung sowohl der Präventions- als auch der Integrationsmaßnahmen in die gesamte betriebliche Organisation. Die Regeln und Vorgehensweisen müssen transparent und allen Beteiligten bekannt sein (HAINKE 1995, ZÄH U. A. 2004A, ADENAUER 2004, BÖS & STORK 2006).

3.5.3 Work Ability Index (WAI)

Einen anderen Ansatz stellt die Anwendung des *Work Ability Index* (WAI zur Quantifizierung der Arbeitsbewältigungsfähigkeit) von ILMARINEN & TEMPEL (2002) dar. Neben den physischen und psychischen Inhalten und Anforderungen des Arbeitsplatzes wird in einem „*Haus der Arbeitsfähigkeit*“ eine Vielzahl weiterer Faktoren auch aus dem privaten Umfeld des Arbeiters erfasst. Dieser Ansatz trägt dem Gedanken Rechnung, dass die Arbeitsfähigkeit des Einzelnen auf einem breiten Fundament „funktioneller Kapazitäten“, auf der „physischen, psychischen und sozialen Gesundheit“, auf erworbenen Kompetenzen und auf Werten ruht.

Die Ermittlung des WAI erfolgt durch individuelle Mitarbeiterbefragungen anhand verschiedener Fragestellungen und offenbart durch den subjektiven Anteil eher die gegenwärtige Beanspruchung des Mitarbeiters als die ABA-Bewertung. Neben der allgemeinen Befindlichkeit wird die eigene Arbeitsfähigkeit im Vergleich zur besten jemals erreichten und zu den Anforderungen der Arbeit beurteilt. Darüber hinaus werden Informationen zu Krankheiten und Fehlzeiten sowie die Einschätzung des/der Betroffenen über die zukünftige Entwicklung erfasst. Die Erhebung und Auswertung des WAI obliegt dem arbeitsmedizinischen Dienst und erfordert die Zustimmung des/der Betroffenen und des Betriebsrates. In verschiedenen Studien wurde belegt, dass die Selbsteinschätzung betroffener leistungsgewandelter Mitarbeiter kaum von Fremdeinschätzungen der Experten, wie beispielsweise Arbeitsmedizinern, abweicht. Ein vollständiger WAI-Befragungsbogen findet sich im Anhang in Abschnitt 10.2.

Im Gegensatz zur Anforderungs- und Belastbarkeitsanalyse spannt der WAI einen größeren Handlungsraum auf. Er gibt gezielte Hinweise, wo im gesamten Gefüge des „Hauses der Arbeitsfähigkeit“ Anforderungen zu reduzieren oder zu eliminieren sind, wie Defizite oder Probleme mittels Motivations-, Qualifikations- und Schulungsmaßnahmen kompensiert und an welchen Arbeitsplätzen die vorhandene Arbeitsfähigkeit besser eingesetzt werden könnte. Als Hilfestellung für die Quantifizierung des Handlungsbedarfes und die Auswahl geeigneter Maßnahmen kann auf einen umfangreichen und systematisch dokumentierten Erfahrungsschatz in der Anwendung des WAI zurückgegriffen werden (vgl. WILLIAMS & CRUMPTON 1997, ILMARINEN 2001, ILMARINEN & TEMPEL 2002, FRIELING 2007). Darüber hinaus ermöglicht der WAI auch Zukunftsprognosen. Mitarbeiter mit schlechten WAI-Werten wurden überproportional häufig dauerhaft erwerbsunfähig beziehungsweise frühverrentet und weisen eine erhöhte

Sterblichkeitsrate auf. Mittels statistischer Auswertungen kann für jedes Unternehmen der spezifische Handlungsbedarf quantifiziert werden und für die Planung neuer, alter(n)sgerechter Produktionsstrukturen, Organisationsformen und Personalentwicklungsstrategien genutzt werden. Die größten Erfolge mit dem WAI wurden dann erzielt, wenn für den/die Betroffenen gemeinsam mit dem Unternehmen und der Krankenkasse sowohl ein Präventions- als auch ein Integrationskonzept erstellt wurde (ILMARINEN 2001, ILMARINEN & TEMPEL 2003). Der WAI findet ausgehend von Skandinavien zunehmend Verbreitung in der europäischen Industrie. Für kleine und mittlere Unternehmen bieten Verbände und unabhängige Dienstleister die Durchführung der Erhebungen und Auswertungen an (SEVERING 2006). Noch hat die Anwendung des WAI allerdings nicht in allen Bereichen der Industrie in breitem Umfang Einzug gehalten. Vor allem für produzierende Unternehmen wird noch an repräsentativen Vergleichszahlen gearbeitet. Darüber hinaus gibt der WAI im Gegensatz zum Profilvergleichsverfahren keine konkreten Hinweise auf technische Abhilfemaßnahmen.

3.5.4 Disability Management

Um die arbeitswissenschaftlichen Erkenntnisse zu den Themenkomplexen „Alternde Belegschaften“ und „Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter“ operativ besser für Unternehmen nutzbar zu machen, hat sich ausgehend von Nordamerika eine spezielle Weiterbildung von Arbeitsmedizinern und Ergonomiespezialisten zu „Disability Managern“ etabliert. Dabei werden vor allem Kenntnisse zur systematischen Früherkennung von Leistungswandlungen, zum Aufbau von Frühwarnsystemen, zu Präventionsmaßnahmen und zur Unterstützung Betroffener sowie zur Koordination von „Integrationsteams“ vermittelt. „Disability Management“ versteht sich als ganzheitliche Anwendung der Methoden und Hilfsmittel zur Prävention und zur Integration eingeschränkt einsatzfähiger Mitarbeiter in enger Zusammenarbeit mit den Trägern der Gesundheitsfürsorge wie dem werksärztlichen Dienst und den Krankenkassen. Das erfordert eine entsprechende organisatorische Einbettung in das Unternehmen in Form einer zentralen Anlaufstelle mit Weisungsbefugnis und die Schaffung eines Problembewusstseins auf Seiten der Unternehmensführung (KNÜLLE 2005, HENKEL 2006, MARKUCIK 2008). In diese Richtung zielen auch Bestrebungen innerhalb der EU, analog zum Qualitäts- und Umweltmanagement ein *Arbeitsschutzmanagement international* zu normieren und zu zertifizieren (EHNERT U. A. 2004). In Deutschland hat der Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (LASI) bereits eine entsprechende Empfehlung zur Einführung und Weiterentwicklung detailliert

und veröffentlicht. Ähnlich dem Anliegen des Qualitätsmanagements soll mittels solcher Systeme der Arbeitsschutz nicht nur geprüft und überwacht werden, sondern auch als wirtschaftlich vorteilhaftes Kernhandlungsfeld eines jeden Unternehmens verankert werden (HILTENSPERGER U. A. 2006A, HILTENSPERGER U. A. 2006B). Die betriebliche Umsetzung folgt den Erkenntnissen jedoch vor allem in kleinen und mittleren Unternehmen noch sehr zögerlich (ZOK 2009).

3.5.5 Weitergehende technische Maßnahmen

Der Fortschritt in der Anlagentechnik und im Bereich der Steuerungen brachte erhebliche ergonomische Verbesserungen mit sich. Insbesondere die Stell- und Betätigungskräfte wurden deutlich reduziert und für die geregelte Ausführung von Bewegungen und das Aufbringen von Kräften steht ein weitaus größeres Spektrum an Antrieben zur Verfügung. Neben den programmierbaren universellen Handhabungshilfsmitteln für die automatisierte Montage haben sich für große Lasten (ab dem Grenzwert von ca. 20 kg) bei geringen Stückzahlen manuell geführte Manipulatoren etabliert (HESSE & SCHMIDT 1998, HESSE U. A. 2001, DRIES 2004, REINHART U. A. 2006).

Ein *Manipulator* ist eine „*Maschine, deren Mechanismus aus einer Folge von Komponenten besteht, durch Gelenke oder gegeneinander verschieblich verbunden, mit dem Zweck, Gegenstände (Werkstücke oder Werkzeuge) zu greifen und/oder zu bewegen, normalerweise mit mehreren Freiheitsgraden. Er kann gesteuert werden durch eine Bedienperson, durch eine speicherprogrammierbare elektronische Steuerung oder ein beliebiges logisches System*“ (DIN EN ISO 8373 (1994)). Der Aufbau besteht in jedem Fall aus einer Grundkinematik mit entsprechender Aufhängung oder Fundamentierung, die auch selbst mobil sein kann, einem Endeffektor als Schnittstelle zum Handhabungsobjekt und einem Antrieb. Der Antrieb kann im einfachsten Fall eine vorgespannte Feder sein. Bei komplexeren Antrieben, wie Schrittmotoren oder Pneumatikeinheiten, kommen zusätzlich als weitere Aufbaubestandteile eine Steuerung und in den meisten Fällen eine entsprechende Sensorik hinzu (siehe Abbildung 12). Im Gegensatz zu einfachen Handhabungshilfsmitteln wie Federzügen, Hebelmechanismen oder reinen Hebezeugen verfügen Manipulatoren über deutlich erweiterte Funktionen. Die grundsätzliche Steuerung und Bewegungsführung für die unterschiedlichen, häufig variierenden Tätigkeiten übernimmt weiterhin der Mensch. *Industrieroboter* verfügen über einen identischen Aufbau. Die Abgrenzung zu handgeführten

Manipulatoren erfolgt über die freie Programmierbarkeit, die einen selbsttätigen Betrieb gewährleistet.

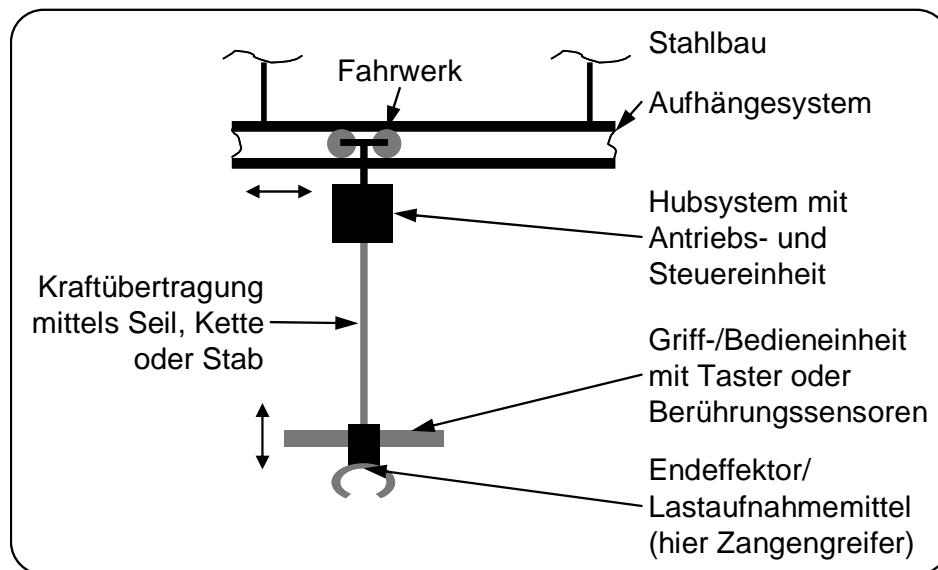


Abbildung 12: Schematischer Aufbau eines handgeführten Manipulators in Deckenausführung nach HESSE U. A. (2001)

Neben den *Kraftmanipulatoren*, die eine voreingestellte Kraft kompensieren, gewinnen für die Montage *Balancer* zunehmend an Bedeutung. Diese so genannten *Ausgleichsheber* regeln selbsttätig variierende Gewichtskräfte (bis ca. +/- 25 %) aus. Bei Mehrachssystemen können durch feinfühligere Taster auch die Beschleunigungskräfte aufgebracht werden, sodass der Werker nur mehr die Richtung der Bewegung vorgeben bzw. andeuten muss. Die Bandbreite (siehe Abbildung 13) reicht von Seilzug- und Kettenhubsystemen, über Gelenkarmmanipulatoren bis hin zu Hubschlauchsystemen, in denen ein Vakuumerzeuger einen teilflexiblen Schlauch kontrahiert. Eine vollständige Übersicht, Gliederung und Beschreibung zuzüglich umfassender technischer Auslegungsregeln findet sich bei HESSE U. A. (2001). Für die Kombination mit Greifsystemen existieren kaum Einschränkungen. Es können nahezu beliebige Werkstückmaterialien und -geometrien gegriffen und fixiert werden. Lediglich bei empfindlichen Oberflächen oder elektromagnetischer Sensibilität können Einschränkungen in den physikalischen Greifprinzipien oder Anpassungen der Bauteile und Werkstücke an die Greifer notwendig werden.

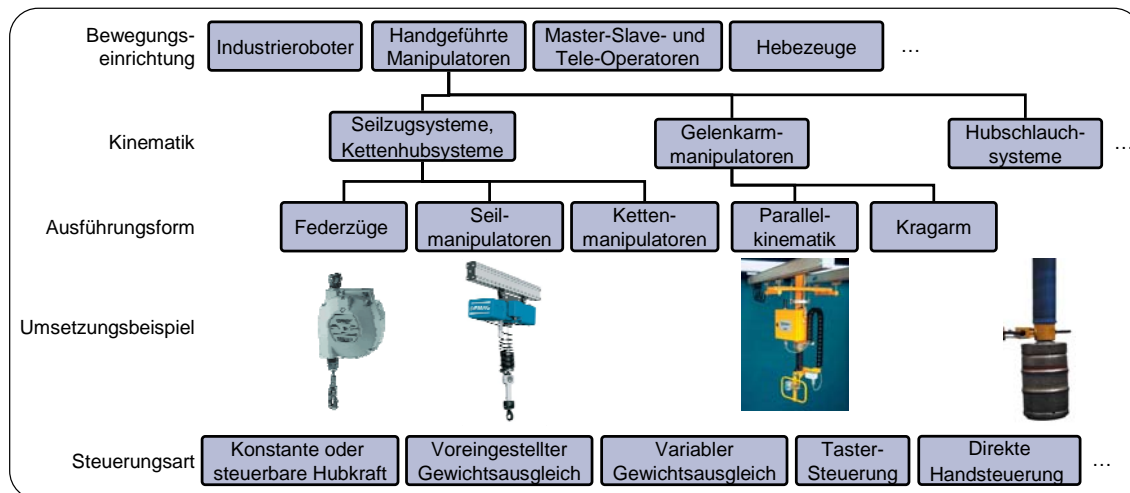


Abbildung 13: Übersicht über Ausführungsformen gängiger manuell gesteuerter Bewegungseinrichtungen für die Stückgutproduktion nach HESSE & SCHMIDT (1998) und REINHART U. A. (2006) (Bildquellen: L. Meili GmbH, Demag Cranes AG, Strödter Handhabungstechnik GmbH, Schmidt Handling Gesellschaft für Handhabungstechnik mbH)

Zur gezielten Wiedereingliederung (einzelner) leistungsgewandelter Mitarbeiter scheitern unterstützende (Teil-)Automatisierungsmaßnahmen bisher in der Regel an der Wirtschaftlichkeit oder an den Flexibilitätsanforderungen. Derartige Projekte werden frühestens bei Neuplanungen aufgegriffen, sofern ausreichender Handlungsbedarf über einen größeren Zeitraum hinweg nachgewiesen wurde.

Eine Weiterführung der Manipulatorpraxis stellt die Bewegung des Werkers dar. Mitfahrssysteme können beispielsweise während der Montage an einem großen und kontinuierlich bewegten Objekt eine sitzende Tätigkeit ermöglichen, indem sie den Mitarbeiter mitführen. Für die Montage befinden sich derartige Systeme erst in der Erprobung. Auch der Einsatz von assistierenden beziehungsweise kooperierenden Robotern (engl.: „Collaborative Robots“ oder kurz „CoBots“) befindet sich noch im Entwicklungsstadium und ist für den Serieneinsatz in erster Linie nicht robust genug (SCHRAFT U. A. 2004). Erste Ansätze für bestimmte Mitarbeitergruppen wurden in Behindertenwerkstätten etabliert (ZÄH U. A. 2005B). Weiterentwickelt und bereits verbreitet sind Maßnahmen aus der digitalen Fabrik zur interaktiven Werkerinformationsbereitstellung, vor allem im Bereich der Multimediaunterstützung sowie der Augmented Reality in Kombination mit Bauteilidentifikationssystemen (ZÄH U. A. 2006B). Zumeist fallen in diesem Bereich jedoch vergleichsweise wenige altersbedingte Einschränkungen an. Eine Bündelung nahezu sämtlicher Automatisierungs- und Technisierungsmaßnahmen

stellt die Forschung im Bereich der kognitiven Fabrik dar (REINHART U. A. 2007). Automatisierungskomponenten bis hin zu Robotern sollen dazu zukünftig im Verbund bzw. durch Interaktion um die Fähigkeiten von Wahrnehmung, Denken, Lernen und Planen bereichert werden. Das spezifische technische Potenzial roboter-gestützter Systeme generell für die Unterstützung älterer Mitarbeiter zeigen REINHART U. A. (2008).

3.6 Zusammenfassung und Quantifizierung des Handlungsbedarfs

Mit zunehmendem Alter der Beschäftigten geht tendenziell eine Abnahme der für die Produktion und Montage besonders relevanten physischen Leistungsfähigkeit einher. Vor allem Erkrankungen des Muskel-Skelett-Systems und des Herz-Kreislauf-Systems nehmen stark zu und beeinträchtigen oftmals dauerhaft die Arbeitsfähigkeit (siehe Abbildung 9, S. 35). Muskel- und Skeletterkrankungen verursachen allein jährlich ca. 12 Mrd. Euro an Produktionsausfallkosten in Deutschland (PERNACK U. A. 2001, S. 4).

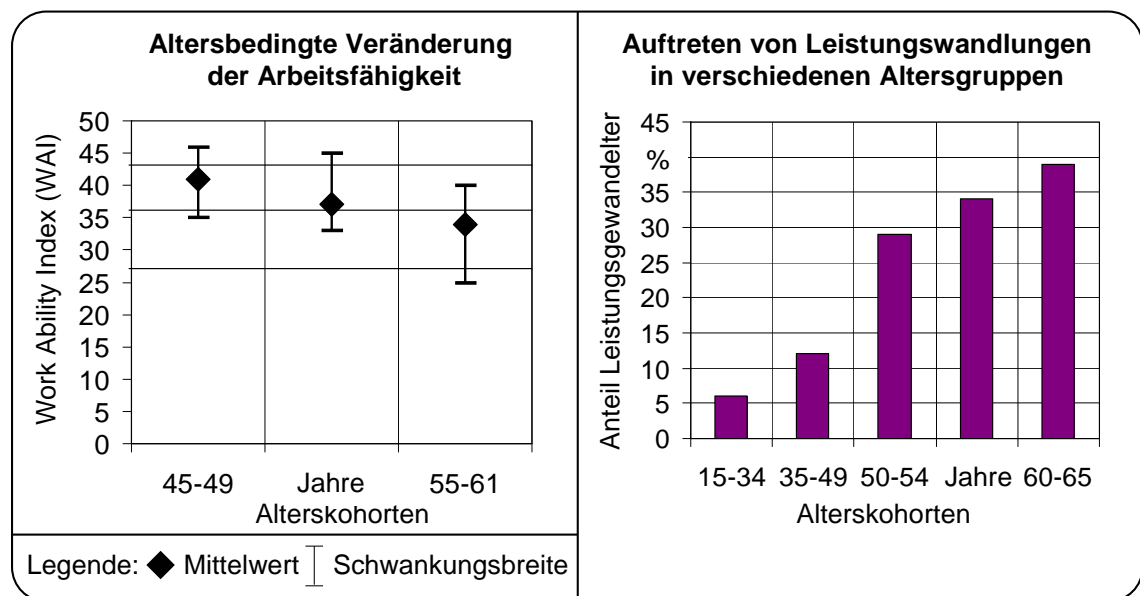


Abbildung 14: Entwicklung der mittleren Arbeitsfähigkeit einer über elf Jahre beobachteten repräsentativen Versuchsgruppe älterer Mitarbeiter nach ILMARINEN & TEMPEL (2002, S. 173) und Auftreten von Leistungswandlungen innerhalb verschiedener Altersgruppen nach eigener Auswertung auf Basis betriebsärztlicher Erfassungen in einem Automobilwerk (vgl. ZÄH & PRASCH 2006, MAGIN 2004)

Umfassende betriebliche Untersuchungen zeigen, dass trotz der intensiven Maßnahmen zur Ergonomiesteigerung während der letzten 35 Jahren die Arbeits(bewältigungs)fähigkeit vor allem bei physischer Beanspruchung tendenziell mit dem Alter abnimmt und der Anteil leistungsgewandelter Mitarbeiter in den höheren Altersgruppen (bereits ab ca. 45 Jahre) stark zunimmt (siehe Abbildung 14). Aktuelle Studien von Unternehmen, die über ein strategisches Disability Management im weiteren Sinn, d. h. über systematische Präventions- und Integrationsmaßnahmen verfügen, belegen durchgehend, dass der Umfang der Aktivitäten nicht ausreicht, alle leistungsgewandelten Mitarbeiter adäquat zu beschäftigen. Der Anteil Leistungsgewandelter unter den Lohnempfängern variiert zwischen 3,5 % und 10 %. Davon können in Summe zwischen 6,2 % und 30 % derzeit nicht adäquat eingesetzt werden. Die Folge nicht adäquater Weiterbeschäftigung ist ein mehr als doppelt so hoher Krankenstand unter den Leistungsgewandelten, zumeist begleitet von negativen Auswirkungen auf die Produktivität und Qualität. Besonders betroffen ist der Bereich der variantenreichen Serienmontage, der über eine Vielzahl verketteter manueller Arbeitsplätze, eine überwiegend physische Belastung und schlanke (oftmals ausgegliederte) indirekte Bereiche verfügt (MAGIN 2004, KNÜLLE 2005, MOHRLANG 2005, BÖS & STORK 2006, SEVERING 2006). Leistungsgewandelte Arbeitnehmer treten erst in höheren Altersgruppen vermehrt auf (siehe Abbildung 14). Derzeit sind sie noch deutlich unterrepräsentiert (siehe Abbildung 2). Zumindest mittelfristig, d. h. bis beispielsweise die Präventions- und Gesundheitsfürsorgemaßnahmen vollumfassend greifen, muss mit einem stark steigenden Integrationsbedarf gerechnet werden. Abbildung 15 zeigt eine exemplarische Vorausberechnung für den Anteil nicht adäquat einsetzbarer leistungsgewandelter Mitarbeiter und den resultierenden Krankenstand infolge der Belegschaftsalterung. Zusätzliche Integrationsmaßnahmen wurden außer Acht gelassen und die Beschäftigtenzahl wurde ebenso wie die altersabhängige Auftretenswahrscheinlichkeit von Leistungswandlungen als konstant angenommen. Die Ursache für die unzureichende Wirksamkeit der Integrationsmaßnahmen ist in einem Mangel an geeigneten Alternativ-Arbeitsplätzen im direkt wertschöpfenden Bereich zu sehen. Wie in Kapitel 2 gezeigt, resultieren die Struktur und die Gestalt von Montagearbeitsplätzen aus den Anforderungen des Produktes und der Produktionsstückzahl. Innerhalb einer bestimmten Produktionsstufe, z. B. der Endmontage beim OEM, der Modulvormontage beim Zulieferer oder der Kleingerätemontage, herrschen daher weitgehend ähnliche integrationsunfreundliche (d. h. bei Einschränkungen nicht nutzbare/nicht zuweisbare) Arbeitsplätze und Belastungen vor.

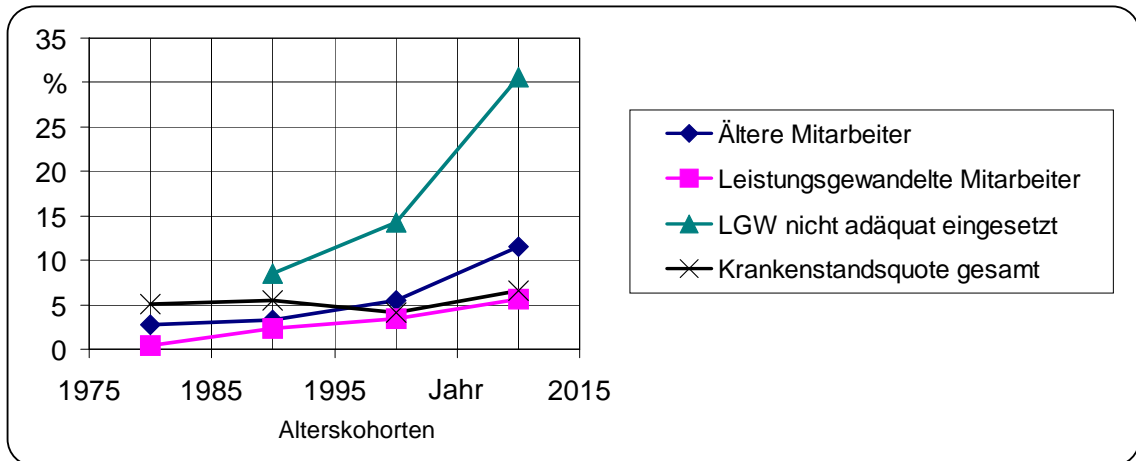


Abbildung 15: Anteile älterer und leistungsgewandelter Mitarbeiter und Auswirkung auf die Beschäftigung und den Krankenstand, nach eigener Vorausberechnung für ein Automobilwerk (vgl. ZÄH & PRASCH 2006, MAGIN 2004, FRIELING 2007)

Einige Integrationskonzepte verweisen auf die Möglichkeit der Anforderungsreduzierung. Für eine effiziente Nutzung dieses Potenzials fehlt jedoch eine Vorgehensweise, wie technische Abhilfemaßnahmen für spezielle medizinisch bedingte Leistungseinschränkungen konkret zu entwickeln, zu bewerten, in bestehende Strukturen zu integrieren und gegebenenfalls wieder zu revidieren sind. Dazu sind auch die Erkenntnisse der alter(n)sgerechten Arbeitsgestaltung zu erweitern und insbesondere technisch-strukturelle Maßnahmen differenziert zu beleuchten. Viele bestehende technische und organisatorische Lösungen lassen sich nur unter speziellen strukturellen Randbedingungen, wie beispielsweise in Inselmontagen, anwenden und können vor allem nachträglich kaum mehr integriert werden. Zudem greifen die Arbeiten den aktuellen Stand der Automatisierungstechnik und wandlungsfähigen Montagesystemgestaltung nur bedingt auf. In Kapitel 4 werden daher den Leistungsprofilen von älteren (Montage-)Arbeitern die spezifischen Anforderungsprofile in verschiedenen Montageorganisationsformen gegenübergestellt und Gestaltungsvorgaben zur weitergehenden Integration abgeleitet.

4 Ableitung von Gestaltungsvorgaben

4.1 Leistungsprofile älterer und leistungsgewandelter Mitarbeiter in der Montage

4.1.1 Allgemeines

Für die Integration (älterer und) leistungsgewandelter Arbeitnehmer in die Montage, bzw. die variantenreiche Serienmontage im Speziellen, sind vor allem die Veränderungen der physischen Leistungsfähigkeit von Bedeutung. Beeinträchtigungen in diesem Bereich haben, wie in Kapitel 3 gezeigt, in erster Linie krankheits- oder verletzungsbedingte Ursprünge. Unfall- und Krankheitsdaten werden in Deutschland durch die Krankenversicherungen beziehungsweise deren Zentralverbände erfasst, ausgewertet und in jährlichen Berichten auch veröffentlicht (vgl. KÜSGENS U. A. 2003, ZOIKE U. A. 2005, GROBE & DÖMING 2005, ZOIKE U. A. 2009, GROBE & DÖMING 2009, HEYDE U. A. 2009). Eine ärztlich attestierte Meldung an die Krankenversicherung ist ab dem dritten Arbeitsunfähigkeitstag verpflichtend. Nahezu alle Krankheiten und Unfallverletzungen, die eine dauerhafte oder zumindest längerfristige Beeinträchtigung der menschlichen Leistungsfähigkeit nach sich ziehen, überschreiten im akuten Zustand diese Dauer und tauchen daher in der Statistik auf. Dementsprechend bietet sich für eine unternehmensunabhängige zielgerichtete Entwicklung und Priorisierung von Integrationsmaßnahmen die Auswertung von Krankheitsstatistiken an.

Die Erfassung erfolgt weltweit standardisiert nach der „*International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems*“ (engl.: internationale statistische Klassifikation der Krankheiten und verwandter Gesundheitsprobleme) der Weltgesundheitsorganisation UNHCO. Diagnostizierte Krankheiten und Verletzungen werden vom behandelnden Arzt in Form der Krankschreibung an die Krankenkasse des Patienten gemeldet und dort einer eindeutigen ICD-Buchstaben-Zahlen-Kombination zugeordnet. Die ICD unterscheidet 21 Hauptmerkmalsgruppen nach Organen und Krankheitsursachen (HEYDE U. A. 2009). Die exakten medizinischen Zusammenhänge zwischen initialer Erkrankung und leistungsmindernder Folgeerscheinungen sind für die Erarbeitung von Integrationsmaßnahmen nur eingeschränkt von Bedeutung. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Mehrzahl der Folgeerscheinungen und bleibenden Leistungsein-

schränkungen das Organ oder den Körperteil betreffen, an dem die Krankheit oder Verletzung aufgetreten ist und auch indiziert wurde. Damit erlauben die statistischen Auswertungen der Krankendaten eine quantitative Bestimmung zu berücksichtigender Leistungswandlungen.

4.1.2 Auswertung von Krankheitsdaten

Die nachfolgenden Zahlen und Auswertungen beziehen sich aufgrund ihrer Bedeutung für den produktiven Sektor, soweit nicht explizit anders vermerkt, ausschließlich auf das Datenmaterial der Betriebskrankenkassen und der Allgemeinen Ortskrankenkassen aus ZOIKE U. A. (2009) und HEYDE U. A. (2009). Beide zusammen versichern über 68 % der 12,4 Mio. Erwerbstätigen im verarbeitenden Gewerbe, dem die Serienmontage zugeordnet ist (ZOIKE U. A. 2009, HEYDE U. A. 2009, STATISTISCHES BUNDESAMT 2003). Die zugrunde liegenden Tabellen sowie die Gesamtzahlen im Überblick finden sich im Anhang in Abschnitt 10.3. Die qualitativen Aussagen decken sich mit denen anderer Versicherer. Zeitlich gesehen ist seit dem Jahr 2000 eine anteilige Zunahme der psychischen Erkrankungen gegenüber den anderen Diagnosen zu verzeichnen (ZOIKE U. A. 2009, GROBE & DÖMING 2009).

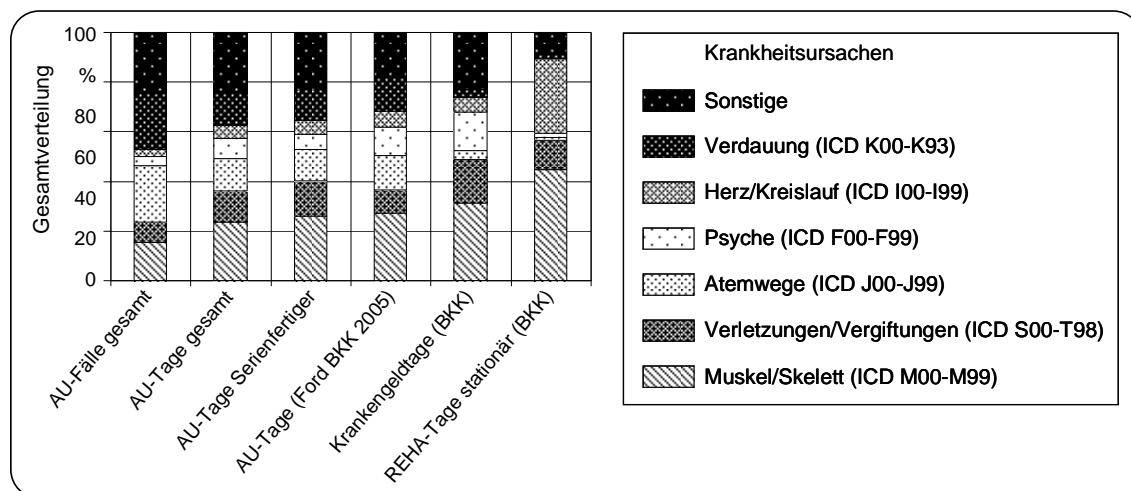


Abbildung 16: Verteilung der Arbeitsunfähigkeitsfälle und -tage sowie der Krankengeld- und Rehabilitationstage auf die ICD-Hauptgruppen

Fast drei Viertel aller Arbeitsunfähigkeitstage fallen in den Bereich von nur sechs ICD-Hauptgruppen (siehe Abbildung 16). Das Muskel-Skelett-System ist am stärksten betroffen. Werden Erkrankungen und Verletzungen nicht nach den ICD-Hauptgruppen, sondern nach den indizierten Körperpartien zusammenge-

fasst, so ist zu über 35 % der menschlichen Stütz- und Bewegungsapparat betroffen. Diese Anteile erhöhen sich mit dem Alter deutlich (siehe Abbildung 9). Dies gilt vor allem für Beschäftigte im Bereich der Montage. Für die Auswertungen wurden dazu die erwerbstätigen Arbeiter in den für die Serienmontage relevanten Wirtschaftsgruppen der Metallverarbeitung sowie der Herstellung technischer Geräte und sonstiger Erzeugnisse zusammengefasst und mit den Auswertungen eines großen deutschen Automobilwerkes abgeglichen (siehe Aufstellung „Serienfertiger“ und „Ford“ in Abbildung 16). Noch deutlicher wird dieser Trend bei Betrachtung der Krankengeldleistungen in diesem Wirtschaftssektor (siehe ebenfalls Abbildung 16). Die Krankengeldzahlung erfolgt erst nach der sechsten Arbeitsunfähigkeitswoche und deutet auf schwerwiegende beziehungsweise langwierige Erkrankungen hin, die nicht selten dauerhafte oder zumindest längerfristige körperliche/geistige Beeinträchtigungen nach sich ziehen. Herz-Kreislauf-Erkrankungen, die ein hohes Risiko für eher unspezifische leistungsmindernde Folgeerscheinungen bergen, treten vor allem bei den Rehabilitationsmaßnahmen überdeutlich hervor und bilden in den höheren Altersgruppen auch die zweithäufigste Krankheitsursache (siehe Abbildung 16 und Abbildung 9).

Eine zahlenmäßige Bestimmung montagerelevanter Folgen von Erkrankungen für eine zielgerichtete Integration leistungsgewandelter Arbeitnehmer erfordert eine detaillierte Auswertung von Einzeldiagnosen. Zum einen ist zu berücksichtigen, welche medizinischen Indikationen mit hoher Wahrscheinlichkeit auf Leistungswandlungen hindeuten. In erster Linie sind typische Kurzzeiterkrankungen wie grippale Infekte u. ä. zu subtrahieren, gekennzeichnet vor allem durch deutlich erhöhte Fallzahlen im Verhältnis zu den Krankheitstagen. Zum anderen ist die Auswirkung der Erkrankung eines Mitarbeiters auf dessen Einsatzfähigkeit in der Montage zu diskutieren. Abbildung 17 fasst die häufigsten Einzeldiagnosen über alle Wirtschaftsgruppen hinweg zusammen und vergleicht die aufgetretenen Fälle und die angefallenen Arbeitsunfähigkeitstage. Die aufgeführten Indikationen decken in etwa die Hälfte aller erfassten Arbeitsunfähigkeitsfälle ab. Zu beachten ist, dass Kurzzeiterkrankungen unter drei Arbeitsunfähigkeitstagen nur berücksichtigt sind, sofern eine ärztliche Behandlung erfolgt ist. Unbehandelte und nicht angezeigte Krankheiten oder Verletzungen fehlen. Zwischen 4 % und 20 % der Arbeitsunfähigkeitstage werden durch Arbeitsunfälle verursacht. Am unfallträchtigsten sind die Land- und Forstwirtschaft sowie das Baugewerbe. Bei den Serienfertigern liegen die Unfallzahlen laut der BKK bei ca. 6 %. Der bei weitem überwiegende Teil der Erkrankungen ist natürlichen Ursprungs. Folgen privater Unfälle und Schädigungen durch kumulative Belastungen im Erwerbsle-

ben können nicht separat erfasst werden, sofern letztere nicht eindeutig als Berufskrankheiten deklariert sind. Die Krankheitsherkunft ist für das Auftreten montagerelevanter Leistungsbeeinträchtigungen jedoch unerheblich.

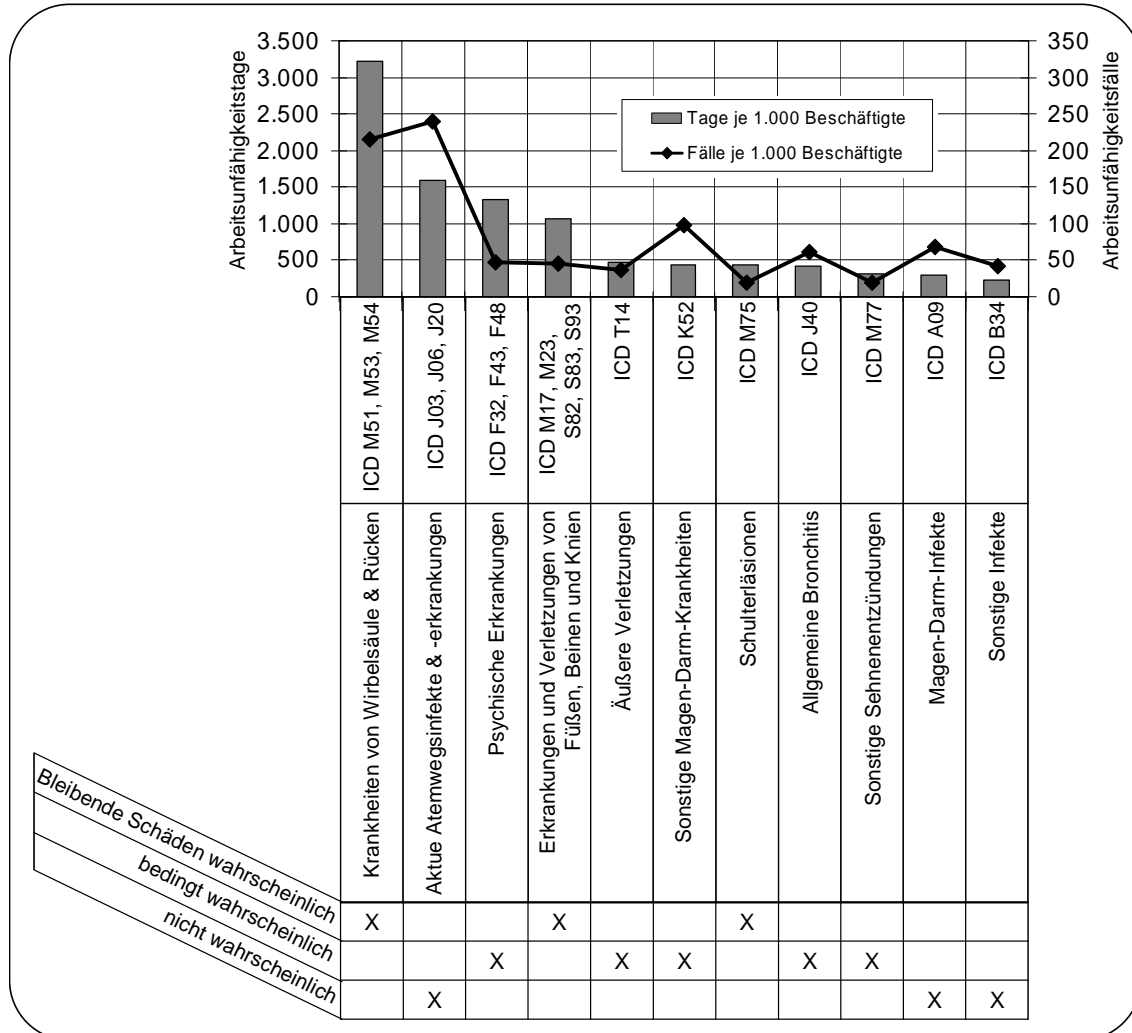


Abbildung 17: Häufigste Einzelbefunde nach Arbeitsunfähigkeitstagen und -fällen mit Bewertung des Risikos für anschließende zeitweise oder dauerhafte gesundheitliche Beeinträchtigungen

Anhand der Auswertung der Fallzahlen im Verhältnis zu den Arbeitsunfähigkeitstagen sowie der Berücksichtigung der medizinischen Indikationen wird in Abbildung 17 die Wahrscheinlichkeit von bleibenden Schäden bewertet. Dabei fällt auf, dass Krankheitserscheinungen mit hohem Folgerisiko ausschließlich den Muskel- und Stützapparat betreffen. Die weiteren Erkrankungen mit erhöhtem Risiko gehören zum Teil ebenfalls noch in diese Kategorien und sind ansonsten neben dem großen Block psychischer Störungen und Erkrankungen auf vielfältige chronische Beeinträchtigungen des Herz-Kreislauf-Systems sowie des

4.1 Leistungsprofile älterer und leistungsgewandelter Mitarbeiter in der Montage

Verdauungssystems zurückzuführen. Tabelle 4 greift die potenziell für längerfristige oder dauerhafte Beeinträchtigungen relevanten Erkrankungen, gegliedert nach betroffenen Körperpartien, gesondert auf und präzisiert die Zusammenhänge mit den Belastungen in der Montage (siehe Abschnitt 2.4.4).

ICD-UNTERGRUPPE	ANTEIL AN DEN GES. AU-TAGEN	MÖGLICHE FOLGEN IN DER MONTAGE
Krankheiten der Wirbelsäule und des Rückens	14,39 %	Reduzierte Belastbarkeit beim Heben- und Tragen, ggf. mit eingeschränkter Beweglichkeit; häufige Haltungsverwechsel erforderlich
Knie-, Bein- und Fußverletzungen und -erkrankungen	4,80 %	Steharbeitsfähigkeit beeinträchtigt; Knien ausgeschlossen
Schulterverletzungen und sonstige Sehnenentzündungen	3,37 %	Eingeschränkte Beweglichkeit (v. a. bei Arbeiten über Schulterhöhe), ggf. nur reduzierte/bestimmte Lasten und Haltungen zulässig
Psychische Störungen	5,95 %	Reduzierte Belastbarkeit, Einsatzwechselfähigkeit und ggf. Dauer Aufmerksamkeit
Chronische Magen-Darm-Erkrankungen	1,98 %	Teilweise reduzierte Dauerbelastbarkeit, Haltungsarbeit und u. U. Taktbindungsfähigkeit
Chronische Atemwegs- und Kreislaufkrankungen	1,86 %	Reduzierte Dauerhöchstleistungsfähigkeit und erhöhte Sensibilität für Umgebungseinflüsse (Hitze, Staub, etc.)
Äußere Verletzungen	2,08 %	Ggf. Beeinträchtigung des betroffenen Körperbereichs, z. B. reduzierte Feinmotorik, o. ä.
<i>Summe:</i>	<i>34,42 %</i>	

Tabelle 4: Beanspruchungsrelevante Zusammenfassung und Beurteilung von Krankheiten für Montagemitarbeiter (zugrunde liegende Auswertung siehe Abbildung 58 im Anhang)

Die genannten Folgen treten nicht bei jeder Erkrankung oder Verletzung zwangsläufig auf, sondern hängen stark vom einzelnen Menschen sowie von der Organisation und Ausgestaltung der Montagearbeitsplätze ab. Aus den Erkrankungsarten allein kann zudem keine Aussage über die Höhe der Beeinträchtigung bei der Erfüllung einzelner Arbeitsanforderungen wie der Lasthandhabung oder der Hal-

tungsarbeit getroffen werden. Für die medizinisch exakte Analyse der Auswirkungen von Krankheiten auf die individuelle Arbeitsfähigkeit existieren teilweise sehr spezifische Fachveröffentlichungen. Einen Überblick für die industrielle Fertigung im Allgemeinen ohne Quantifizierung geben FRIEDRICH (1986, S. 59 f.) sowie SCHRADER U. A. (1995, S. 18), wobei ein Großteil der dort diskutierten Belastungen (wie Stäube, Atemschutz, etc.) in der Montage nicht auftreten.

4.1.3 Überprüfung und Diskussion

Für die Überprüfung der relevanten alters- und krankheitsbedingten Folgen bieten sich Auswertungen von Profilvergleichsdaten in Unternehmen mit großen Montageumfängen, wie dem Automobilbau, an. Die wissenschaftliche Fundamentierung, die montagespezifische Ausrichtung und der langjährige Erfahrungsschatz prädestinieren das ABA-System.

NR.	BELASTUNGSMERKMALE	ATTESTIERTE EINSCHRÄNKUNGEN BEI LEISTUNGSGEWANDELTEN	ZUORDENBARE NENNUNGEN AUS DER KRANKHEITSSSTATISTIK (SIEHE TABELLE 4)
1	Stehen, Gehen, Sitzen & Kniebeweglichkeit	16,4 %	19,18 %
2	Handhaben von Lasten	15,1 %	17,75 %
3	Beweglichkeit des Rumpfes	12,0 %	14,39 %
4	Taktabhängigkeit	8,3 %	9,78 %
5	Muskelbelastung der Arme	7,6 %	3,37 %
6	Arbeiten über Schulterhöhe	7,1 %	16,32 %
7	Schichteinsatzfähigkeit	4,9 %	
8	Leistungsentlohnungsfähigkeit	4,6 %	5,95 %
9	Dauernachtschichteinsatzfähigkeit	3,3 %	--
10	Fahr- und Steuertätigkeiten	3,0 %	5,95 %

Tabelle 5: Unternehmensweite Zuordnung der Einschränkungen von leistungsgewandelten Mitarbeitern zu den ABA-Profilvergleichskriterien (Datenquelle: MOHRLANG 2005) und übersichtswaiser Abgleich mit den Nennungen der Krankenstatistik

Tabelle 5 zeigt die Häufigkeit von Einschränkungen leistungsgewandelter Mitarbeiter für verschiedene Belastungsmerkmale. Die qualitativen und quantitativen

Nennungen von Einschränkungen Betroffener variieren nur geringfügig zwischen verschiedenen Unternehmen und Unternehmensbereichen, da sich die manuellen Tätigkeiten in der Produktion und insbesondere in der Montage bezüglich der Auswirkung auf den menschlichen Organismus gleichen (vgl. KNÜLLE 2005, MOHRLANG 2005, BÖS & STORK 2006, SEVERING 2006). Ein ähnliches Bild zeigen auch die Auswertungen im Rahmen des für diese Arbeit durchgeführten Anwendungsbeispiels (siehe Kapitel 7). Der in Tabelle 5 angestellte Vergleich der betriebsinternen Fallauswertungen mit den Fallzahlen der öffentlichen Krankheitsstatistiken soll nicht der Verifizierung dienen, sondern vielmehr die Zuordnung der möglichen montagerelevanten Folgen (aus Tabelle 4) plausibilisieren. Zusammen mit einer Gegenüberstellung der Anforderungen in der Montage ermöglichen die vorgestellten Auswertungen eine klare Fokussierung bei der Entwicklung von neuen Integrationslösungen und -vorgehensweisen.

4.2 Anforderungsprofile von Montagearbeitsplätzen

4.2.1 Übersicht

Aufgrund der Breite an Produkten und Stückzahlen/Losgrößen in der Montage ist die Klassifizierung der Anforderungen für verschiedene Bereiche gesondert vorzunehmen. Entsprechend der in Kapitel 2 vorgestellten wirtschaftlichen Randbedingungen und der Einteilung der Produktionsarten in Abbildung 4 kann die Serienmontage drei funktionalen Bereichen zugeordnet werden (siehe Abbildung 18). In *variantenneutralen Vormontagen* werden Baugruppen in hohen Stückzahlen erstellt und nach dem Just-in-time- oder dem Just-in-sequence-Prinzip an *variantenflexible Endmontagelinien* angeliefert und dort zum kundenspezifischen Endprodukt (in geringen bis mittleren Stückzahlen) verarbeitet. Das Endprodukt kann auch ein komplexes Modul sein, das erst von einem OEM entsprechend der Kundenspezifikationen zusammengestellt wird. Darüber hinaus existieren eine Reihe von *Sonderformen* für vollständig kundenindividuelle Produkte oder kleine Serien mit sehr einfachen, kurzen Montageumfängen. Abbildung 18 charakterisiert die beschriebenen Bereiche näher und ordnet die typischen Montageorganisationsformen zu. Erst anhand der Montageorganisationsform lassen sich Ausprägungen und Gestaltungen von Arbeitsplätzen unterscheiden und auf ihre Anforderungen hinsichtlich des Einsatzes leistungsgewandelter Mitarbeiter untersuchen.

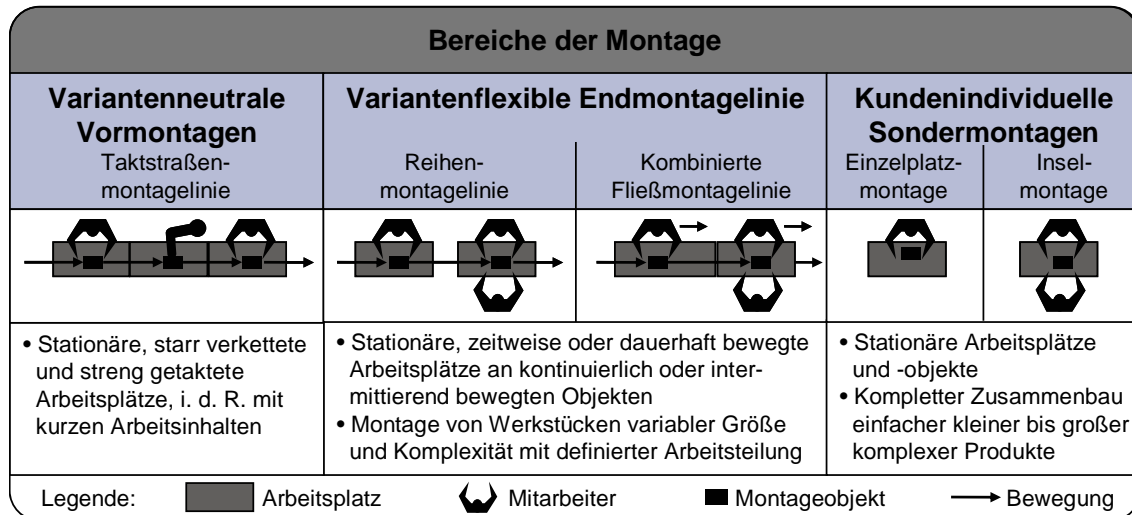


Abbildung 18: Gliederung der (Serien-)Montage und Zuordnung vorherrschender Montageorganisationsformen (vgl. SPUR & HELWIG 1986, WARNECKE 1996, Eversheim & Schuh 1996, S.10-27.f.)

Die Trennlinien zwischen den Bereichen können nicht scharf gezogen werden, ebenso spiegeln die Zuordnung und die Bezeichnung der Organisationsformen nur den gegenwärtigen Stand der Praxis wider. Die nachfolgende Identifizierung und Beschreibung der Anforderungen der jeweiligen Montageorganisationsformen bauen auf den in Kapitel 2 und 3 detailliert beschriebenen Arbeiten von BUCK u. A. (1996), TÄUBERT & REIF (1997), WILLNECKER (2000) und REIF & BUCK (2003) auf. Die Bewertung und Beurteilung richten sich entsprechend der Zielsetzung der Arbeit auf den gegenwärtigen wirtschaftlichen Hintergrund und auf eine gezielte Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter auch mittels neuer technischer Lösungen. Unter dem Begriff *Integrationsförderlichkeit* wird im Folgenden die Möglichkeit verstanden, die Belastungen am Arbeitsplatz, ggf. auch nachträglich, entsprechend typischer Einsatzeinschränkungen anpassen bzw. reduzieren zu können.

4.2.2 Einzelplatz- und Inselmontage

Bei Einzelplatz- und Inselmontagen werden die Montagetätigkeiten am ruhenden Objekt ausgeführt, ausgehend von einem Basisteil, an das die weiteren Teile gefügt werden. Am einen Ende des Spektrums liegt die klassische Einzelplatzmontage kleiner, einteilig strukturierter Produkte wie Halterungen für Handläufe o. ä. (in den verschiedensten Stückzahlen). Ein oder mehrere Mitarbeiter montieren an einfachen Arbeitstischen meist ohne spezifische Werkzeuge und Hilfsmittel nach mündlicher Arbeitsanweisung. Je nach Größe und Zugänglichkeit des Objektes

und der Fügerichtungen kann die Montage sowohl im Sitzen als auch im Stehen ausgeübt werden. Das andere Ende des Spektrums bildet die Inselmontage für hochkomplexe, große und oft unbewegliche Produkte. Produziert wird nach Kundenauftrag in kleinen Stückzahlen auf Basis einer modularen Produktstruktur, beispielsweise bei Werkzeugmaschinen. Hier erfolgt die Montage oft ohne Tische oder Vorrichtungen von Grund auf direkt am Boden oder auf einem späteren Transporthilfsmittel nach detaillierten Zeichnungen und Ablaufplänen. Die Arbeitsanweisung wird entweder vom Mitarbeiter selbst direkt aus der Stückliste abgeleitet oder detailliert in Papierform bzw. via Multimediasysteme bereitgestellt. Hierfür sind eine hohe Qualifikation, eine umfangreiche Schulung und ein großes Maß an Verantwortungsbewusstsein der Mitarbeiter notwendig.

Die kennzeichnende Belastungsart ist eine einseitige dynamische Muskelarbeit mit sensumotorischen Anforderungen zum Handhaben und Fügen der Bauteile. Die Wiederholfrequenz bestimmt den Grad der Monotonie und Eintönigkeit. Die Ergonomie und die Eignung für leistungsgewandelte Mitarbeiter hängen wesentlich von der montagegerechten Produktgestaltung ab. Das betrifft vor allem das (wiederholte) Auftreten überhöhter Kräfte und sensumotorischer Anforderungen ebenso wie Zwangshaltungen des ganzen Körpers oder Teilen davon zum Erreichen unzugänglicher Fügeorte. Gerade in kleineren Serien sind die Bauteile und Baugruppen aber fast ausschließlich für den späteren Verwendungszweck optimiert. Weiterhin wirken sich die Auswahl der Basiseinrichtungen wie Beleuchtung, Tische, Stühle, Fuß- oder Armauflagen sowie die Einbindung in die Fabrikumgebung auf die notwendigen Haltungen aus, vor allem auf die möglichen Tätigkeitsweisen und das persönliche Empfinden. Je nach Anordnung und Aufgabenumfang treten vor allem bei sortenreiner Materialbereitstellung zusätzlich zu Zwangshaltungen bei der Bauteilentnahme aus großen Transportgebänden längere Wege auf. Ansonsten werden dem Mitarbeiter während der Montagetätigkeiten in der Regel weder Höchstkräfte noch eine hohe Dauerleistung noch die Einhaltung eng definierter Zeitzielvorgaben abverlangt. Häufig können die Werker selbst Einfluss sowohl auf die Anordnung des Arbeitsplatzes als auch auf die Arbeitsabläufe nehmen und sind damit ganzheitlich und motivierend eingebunden. Allerdings verhindern geringe Stückzahlen oder Margen oft eine adäquate Berücksichtigung der Ergonomie und Integrationsförderlichkeit beispielsweise durch den erforderlichen Invest in Spezialwerkzeuge, höhen- und neigungsverstellbare Tische sowie Multimediaminformationssysteme. Das gilt prinzipiell sowohl für die Einzelplatz- als auch für die Inselmontage. Montageinseln, an denen eine Gruppe von Mitarbeitern ein komplexes Produkt vollständig montiert, för-

dem zusätzlich die Motivation durch Kommunikation sowie durch höhere Eigenverantwortlichkeit und Ganzheitlichkeit der Arbeitsinhalte. Dafür reduziert sich die Möglichkeit, Tätigkeiten sitzend oder in optimaler Körperhaltung auszuführen, und es treten gelegentlich hohe Bauteilgewichtskräfte und folglich Haltearbeit auf, allerdings mit der Möglichkeit zur gemeinsamen Bewältigung. Die gesamte Arbeitsleistung kann weitgehend individuell erbracht werden und durch Puffer, Lager oder Mehrmitarbeitereinsatz relativ einfach der Nachfrage angepasst werden.

4.2.3 Reihenmontage

Eine Weiterentwicklung der Einzelplatz- und Inselmontage für höhere Stückzahlen, besonders wenn stationäre, teure Spezialwerkzeuge und -vorrichtungen (für Justage, Prüfung o. ä.) technisch unumgänglich sind, stellt die Reihenmontage dar. Hierbei wird das Werkstück ohne feste zeitliche Vorgaben zwischen Einzelmontageplätzen weitergegeben. Die Reihenschaltung reduziert in erster Linie den Arbeitsinhalt und ermöglicht Spezialisierungen. Damit erhöht sich in einem gewissen Rahmen die Zeitbindung zwischen den Arbeitern. Die Ausgestaltung, die Basiseinrichtungen und damit auch die auftretenden physischen Belastungen gleichen denen der Einzelplatz- und Inselmontage. Mitunter steht ein größerer Investitionsspielraum für ergonomische Spezialwerkzeuge zur Verfügung. Die Verwendung von automatisierten oder mechanisierten Verkettungsmitteln führt hingegen zu einer gewissen Einschränkung (siehe entsprechendes Strukturlayout in Abbildung 18). Die Zugänglichkeit zu Fügeorten oder zur Materialbereitstellung wird dadurch beeinträchtigt und die Wegstrecken werden erhöht. Aufgrund der Restriktionen, die durch die Verkettung bezüglich der Zugänglichkeit auftreten, durch den Einsatz von Stehhilfen und durch die Zeitflexibilität tritt eine Verschiebung der kurzfristigen statisch/dynamischen Haltearbeiten hin zu dauerhafter Haltungsarbeit, bei weiterhin vorwiegend einseitiger dynamischer Muskelarbeit, auf. Die Integrationsförderlichkeit nimmt tendenziell ab, je einseitiger (monotoner) die Tätigkeiten sind und je höher und gleichförmiger die Dauerbelastung ist. Die Leistungsschwankungen zwischen den Mitarbeitern können über unterschiedliche Pufferkapazitäten nur geglättet, langfristig (z. B. über eine Schicht) jedoch nicht kompensiert werden.

4.2.4 Kombinierte Fließmontage

Der kombinierten Fließmontage werden mit der kontinuierlichen und der stationären Fließmontage Systeme zugeordnet, in denen das Montageobjekt kontinuierlich oder kurzzyklisch intermittierend bewegt und vom Werker über einen gewissen (Förder-)Bandabschnitt oder über mehrere Arbeitsplätze begleitet wird. Diese zunehmend verbreitete Organisation eignet sich gerade im Einzelstückfluss für variantenreiche und komplexe Produkt- und Stückzahlstrukturen.

Eine typische Ausprägung stellt die kontinuierliche Fließmontage bei großen Produkten wie in der Fahrzeugendmontage dar. Dabei werden sowohl die Werkstücke als auch die Mitarbeiter kontinuierlich von einem Fördermittel bewegt. Schwere handgeführte (Spezial-)Werkzeuge hängen in der Regel gewichts-entlastet an Federzügen und können über Kinematiken mitgeführt werden. Für große Baugruppen kommen zur Kompensation der handzuhabenden Massen teilweise auch schon mitführbare Manipulatoren zum Einsatz, die an den speziellen Einsatzfall angepasst werden. Vollautomatisierte Stationen müssen derzeit aus Sicherheitsgründen noch über Ein- und Auslaufpuffer vollständig entkoppelt werden. Das Fördermittel mit den Werkstückaufnahmen ist die einzige Basiseinrichtung. Die Bauteilbereitstellung erfolgt in der Regel unbewegt zu beiden Seiten des Transportsystems.

Für kleine Produkte, wie mechatronische Hochdruckeinspritzpumpen oder Elektrohandwerkzeuge, ist die stationäre Fließmontage kennzeichnend. Hier bewegt sich der Mitarbeiter entlang mehrerer meist in U-Form angeordneter Hybrid-Arbeitsplätze reihum und führt dort jeweils am stationären Objekt die notwendigen manuellen Operationen durch, während die gerade nicht manuell bedienten Plätze/Stationen im Automatikbetrieb arbeiten. Das Werkstück wird entweder durch Fördermittel kurzzyklisch intermittierend weitertransportiert, vom Monteur getragen oder auf Rollenbahnen entlang geschoben. Die sonstige Ausgestaltung gleicht bei kleinen Produkten den Reihenmontagesystemen. Die Informationsbereitstellung geschieht jeweils an Fixpunkten, wie den Einlege- oder Bereitstellorten von Material oder Werkzeugen.

Den größten wirtschaftlichen Vorteil vor allem hinsichtlich der Flexibilität bringt der Zeitausgleich infolge der Bewegung und der überlappenden Arbeitsräume (siehe Abschnitt 2.3.2). Für die Ergonomie und insbesondere die Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter ist es aber zugleich der größte Nachteil. Sitzende Tätigkeiten sind mit bestehender Anlagentechnik meist ausgeschlossen. Die

Rückwege neben dem Fördermittel beziehungsweise die Umläufe innerhalb der U-Form bei Systemen für Kleingeräte summieren sich zu beträchtlichen Laufstrecken. Wenn dabei über weite Wege Massen mitzuführen sind, wie Bauteile aus der Bereitstellung oder Werkstücke bei manueller Verkettung, treten erhebliche physische Belastungen auf. Gegenseitige Behinderungen der Mitarbeiter durch kreuzende Wege schränken den Einsatz von Hilfsmitteln sowohl für die Montage als auch für die Handhabung ohne Zusatzmaßnahmen sehr stark ein. Je nach Ausführung weisen die Arbeitsinhalte eine sehr unterschiedliche Dauer und Komplexität auf. Bei intermittierender Umlaufmontage beschränken sich die manuellen Operationen häufig auf einfache Einlegevorgänge für geometrisch komplexe oder formlabile Bauteile mit vielen Varianten. Bei kontinuierlich bewegten Produkten mit größeren Abmessungen und komplexen Geometrien wie Fahrzeugkarossen sind eingeschränkte Zugänglichkeiten und infolgedessen Zwangshaltungen bis hin zu Überkopparbeiten im Knien, z. B. in der Fahrgastzelle bei der Dachhimmelmontage, unvermeidlich. Zusätzlich nachteilig für leistungsschwächere Mitarbeiter erweist sich der psychische Druck, der sich durch das stete Aufrücken Nachfolgender und die Gefahr des „Überholt-Werdens“ aufbaut.

4.2.5 Taktstraßenmontage

Die Taktstraßenmontage zeichnet sich durch eine strenge zeitliche Bindung mit definiert abgetakteten stationären Arbeitsplätzen aus. Die Gestaltung der Basis-einrichtungen orientiert sich am Verkettungsmittel. In der Regel handelt es sich inzwischen anstelle von starren Bändern meist um Werkstückträgertransfersysteme mit zumindest geringer Staupuffermöglichkeit vor den Arbeitsplätzen. Die Montage wird direkt am Objekt auf dem Werkstückträger vorgenommen, welcher dafür angehalten wird. Zur Kleinteil- und Werkzeugbereitstellung für den Werker werden zumeist auf der gegenüberliegenden Seite des Transfersystems einfache Überbauten angebracht. Bei sehr kleinen Produkten wird das Verkettungssystem direkt in die Arbeitstische integriert. Durch die Austaktung und die stationären Arbeitsplätze können Arbeitsvorgänge sehr einfach auch noch nachträglich automatisiert werden.

Bei dieser Montageorganisationsform treten die kürzesten Taktzeiten und der höchste Zeitdruck für die Werker auf. Personenabhängige Leistungsunterschiede führen durch die begrenzte Pufferfunktion der wenigen (teueren) Werkstückträger binnen kürzester Zeit zur Beeinträchtigung der gesamten Linie. Zusätzlich können monotone Aufgaben, angeordnet zwischen Automatikstationen für kom-

plexe Füge- und Überwachungsvorgänge, die Motivation und (Leistungs-)Entfaltung der Mitarbeiter hemmen. Unmittelbare Auswirkungen auf die Qualität ergeben sich daraus vor allem, wenn eine hohe Daueraufmerksamkeit, z. B. für Sichtprüfungen, gefordert ist. Die notwendige Ausrichtung am Verkettungsmittel beeinträchtigt in vielen Fällen den Einsatz von Stehhilfen oder die Installation von Sitzarbeitsplätzen und führt zu Zwangshaltungen. Die gute Automatisierungsmöglichkeit schafft einerseits eine fast vollständige Entlastung des Monteurs von Fügekräften und Manipulationsgewichtskräften, zumindest bei automatisch zuführbaren (d. h. wenig variantenbehafteten) Bauteilen. Andererseits wirken bei manuell zuzuführenden Bauteilen und Baugruppen aufgrund der hohen Wiederholfrequenz bereits mittlere Massen extrem blastend.

4.2.6 Überprüfung und Diskussion

Zur Überprüfung werden stellvertretend drei Arbeitsplätze aus der Stand-, der Reihen- und der kontinuierlichen Fließmontage ergonomisch bewertet (siehe Abbildung 19). Die Auswahl der Beispiele kann aufgrund der Vielfältigkeit der Montage keine Vollständigkeit beanspruchen. Sie dient vielmehr der Veranschaulichung der Belastungen und trägt zum Verständnis der Schwerpunktsetzung bei. Alle drei Arbeitsplätze entsprechen angesichts des zu montierenden Produktes und der Stückzahlen den gegenwärtigen Grundlagen für eine wirtschaftliche Montagesystemgestaltung, weshalb die Auswahl und die Anordnung der Betriebsmittel nicht näher erläutert werden.

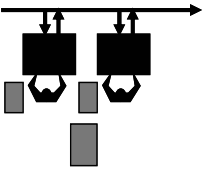

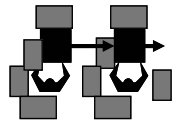

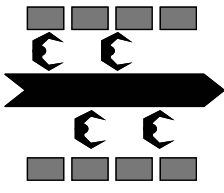





Organisationsform (Beispiel mit Branche und Bezeichnung)	Strukturlayout	Arbeitsplatz- gestaltung	Belastungs- schwerpunkte
1. Standmontage (Nutzfahrzeug- Baugruppen / Fahrerhaus- dachausstattung)			<ul style="list-style-type: none"> • Andauerndes Stehen • Zwangshaltungen • Seltenes Heben und Tragen schwerer Lasten
2. Reihenmontage (Elektrokleingeräte/ Typenendmontage)			<ul style="list-style-type: none"> • Geschicklichkeit/Feinmotorik • Weite Greifwege mit Zwangshaltungen • Zeitdruck
3. Kontinuierliche Fließmontage (Automobil- endmontage/ Endmontage)			<ul style="list-style-type: none"> • Nur Stehen und Gehen • Häufiges Tragen und Halten • Hoher Zeitdruck
Legende:  Arbeitsplatz  Mitarbeiter  Materialbereitstellung  Weitergabe			

Abbildung 19: Ausgewählte Arbeitsplatzbeispiele unterschiedlicher Montageorganisationsformen zur ergonomischen Überprüfung (Bildquellen: MAN Nutzfahrzeuge AG, Metabowerke GmbH, BMW Group)

Die im ersten Beispiel dargestellte Standmontage erfordert eine über die Vorgaben zur altersgerechten Arbeitsgestaltung von HELL U. A. (1985), TÄUBERT & REIF (1997) und anderen (siehe Abschnitt 3.4) hinausgehende Beweglichkeit und Belastbarkeit der Arme und des Rumpfes, z. B. bei Einführ- und Füge-tätigkeiten zur Verkabelung. In etwa bei 80 % aller in der Arbeitsvorgangsbeschreibung gelisteten Montageoperationen ist das Zubringen von Material erforderlich. Teilweise werden die Anbauteile auf Materialbereitstellungswägen vorkommissioniert, um die Greifwege und die ablaufbedingten Wartezeiten während des Montagetaktes von 25 bis 85 Minuten (je nach Ausstattungsumfang) zu minimieren. Aufgrund der Werkstückabmessungen wird der empfohlene Greifraum von ca. 60 cm fast durchgehend überschritten und es sind keine Stehhilfen oder Sitzmöglichkeiten vorgesehen. Darüber hinaus treten gelegentlich stark erhöhte Handkräfte auf. Bei manchen außen liegenden Anbauteilen ist während des Fügevor-

gangs eine zusätzliche Haltearbeit von der gegenüberliegenden Werkstückseite (der Dachinnenseite) aus notwendig, die eine kniende Haltung erzwingt.

Das zweite Beispiel repräsentiert eine typische Reihenmontage für Kleingeräte mit mittleren Stückzahlen. Löt- und Kabeleinführungsvorgänge erfordern eine erhöhte Geschicklichkeit und eine hohe Konzentrationsfähigkeit. Einige weniger feinmotorisch anspruchsvolle Montageoperationen können auch im Stehen ausgeführt werden. Zur Werkstückaufnahme und -abgabe muss der Sitzarbeitsplatz verlassen werden. Für das Zubringen der Gehäuseteile aus den Transportkartonagen ist eine erhöhte Rumpfbeweglichkeit (mit Drehung und Beugung von bis zu 90°) notwendig. Die kurzen Taktzeiten im Minutenbereich und die qualitätsprozessbedingt geringen Puffermöglichkeiten schränken die Inanspruchnahme persönlicher Verteilzeiten ein.

Für das Fügen des Kopfairbags in der kontinuierlichen Fließmontage im dritten Beispiel sitzen beziehungsweise knien die Mitarbeiter im Fahrzeuginnenraum. Nach einmaligem Materialzubringen erfolgt die Arbeit dauerhaft seitlich im Überkopfbereich ohne nennenswerte Kraftausübung, aber mit gelegentlichen Druckbelastungen auf die Unterarme und Handgelenke. Für den Blickkontakt während des Fügeprozesses muss der Nacken extrem geneigt werden. Darüber hinaus wird für Beidhandtätigkeiten der Rumpf stark ausgelenkt. Die kontinuierliche Fließmontage erlaubt bedingt ein Eindringen in benachbarte Arbeitsbereiche und mindert damit den Zeitdruck. Die Inanspruchnahme der persönlichen Verteilzeit ist nach Abstimmung innerhalb der Gruppe gut möglich.

Die Beispiele zeigen generell eine Ähnlichkeit der kritischen Belastungen über alle Montageorganisationsformen hinweg, die sich zudem mit den attestierten Einsatzeinschränkungen leistungsgewandelter Mitarbeiter (siehe Tabelle 5) decken (siehe ABA- und IMBA-Bewertung der Beispielarbeitsplätze im Anhang in Abschnitt 10.4). Dementsprechend kann das Integrationspotenzial von Umversetzungsmaßnahmen mittels Profilvergleich auch in heterogen organisierten Montagen nicht ausreichen, um alle leistungsgewandelten Arbeitnehmer dauerhaft wertschöpfend zu beschäftigen. Tabelle 6 quantifiziert ergänzend anhand einer Auswertung bei einem Automobilhersteller die Auftretenshäufigkeit verschiedener Belastungsarten in der Serienmontage.

NR.	MERKMALE KRITISCHER BELASTUNGEN	AUFTRETENSHÄUFIGKEIT IN EINEM AUTOMOBILWERK
1	Taktabhängigkeit	95 %
2	Erhöhte Rumpfbeweglichkeit (mit Drehen > 15° und/oder Beugen > 30°) erforderlich	44 %
3	Zeitweise volle Beweglichkeit der Kniegelenke erforderlich	41 %
4	Kein ausreichender Tätigkeitswechsel (von mehr als 10 % zwischen Stehen, Gehen und Sitzen) möglich	36 %
5	Erhöhte Beweglichkeit der Arme für Greifräume > 60 cm notwendig	31 %
6	Gelegentliches oder häufiges Heben und Tragen von Lasten > 8 kg	15 %
7	Arbeiten über Schulterhöhe (ohne nennenswerten Kraftaufwand)	10 %
8	Belastung des Nackens (durch erhebliche notwendige Auslenkungen)	8 %
9	Erhöhte Muskelbelastung der Unterarme und Handgelenke durch Krafteinwirkung, Schläge oder Vibrationen	6 %

Tabelle 6: Auftretenshäufigkeit potenziell integrationshemmender Belastungen in der variantenreichen Serienmontage (vgl. ZÄH & PRASCH 2006, MOHRLANG 2005)

Die geforderten menschlichen Leistungsmerkmale gleichen sich in allen Montagebereichen, aber die Intensität der Beanspruchung und damit die Integrationshemmnisse (im Folgenden als Gegenteil der Integrationsförderlichkeit zu verstehen) nehmen vor allem bei kombinierten Fließmontagen und Taktstraßen zu (vgl. CONTI U. A. 2006). Hier konkurrieren stets mehrere Ziele bei der Ausgestaltung der Arbeitsplätze, wie die Reduktion der Bandlänge und die Entzerrung der Materialbereitstellung mit der Verkürzung von Laufwegen und der Entflechtung von Werkerinteraktionen u. v. m.

4.3 Abgleich von Anforderungs- und Leistungsprofilen

Grundsätzlich zeigt sich bei allen betrachteten Arbeitsplatzgestaltungsformen, dass der überwiegende Teil der Tätigkeiten in der manuellen Montage einseitige dynamische Muskelarbeit verlangt und sensumotorische Anforderungen beinhaltet.

tet. Eine Hauptbelastungsquelle ergibt sich durchweg, wie geschildert, durch das Zubringen der Teile von den stetig größer werdenden Bereitstellflächen und Transportgebänden und die Positionierung und Fixierung für den Fügevorgang. Demgegenüber stehen bei den Krankheitsfällen und -tagen sowie den attestierten Einsatzeinschränkungen in Profilvergleichsverfahren an erster Stelle Wirbelsäulen- und Rückenschädigungen (siehe Tabelle 4). Erschwerend kommt an fast allen Arbeitsplätzen ein Haltungsarbeitsanteil beim Erreichen von Füge- und Bereitstellungsstellen hinzu, der stark vom zu montierenden Produkt und der Eignung und Anpassbarkeit der Basiseinrichtungen zur Fixierung desselben abhängt. Die überwiegende Anzahl der Montagearbeitsplätze erfordert dauerhaftes Stehen mit gelegentlichen Gehanteilen. Bei längerer Fixierung auf eine Fügestelle werden natürliche Bewegungen und Haltungswechsel erheblich eingeschränkt. Die Beanspruchung steigt beträchtlich, wenn grundsätzlich kein Tätigkeitswechsel zwischen Stehen, Gehen und Sitzen ermöglicht wird, wie das häufig der Fall ist. Dies kollidiert mit der Vielzahl und Häufigkeit von Leistungsbeeinträchtigungen des Stütz- und Weichteilapparates (Knie-, Fuß-, Bein-, Rumpf-, Schulter- und Sehnenverletzungen; Weichteilerkrankungen; Durchblutungsstörungen; siehe ebenfalls Tabelle 4). Die Wiederholfrequenz der Tätigkeiten und der Zeitdruck hängen wesentlich von der Organisationsform und der zu montierenden Stückzahl ab und führen je nach Pausenregime mitunter zu einer kontinuierlich steigenden Beanspruchung während der gesamten Schichtdauer und behindern natürliche Erholungsbedürfnisse. Damit fehlen vor allem Freiräume für den Umgang mit verschiedensten psychischen Störungen oder eher unspezifischen Leistungsbeeinträchtigungen wie Atemwegs- und Magen-Darm-Erkrankungen. Hinsichtlich des Anteils an informatorischen oder geistigen Arbeiten erwachsen aus der Arbeitsplatzgestaltung und der Organisationsform keine Beschränkungen. In jedem Fall besteht die Möglichkeit, Mitarbeiter wechselnd an unterschiedlichen Arbeitsplätzen (mit verschiedenen Belastungsprofilen) einzusetzen, sofern die in der Regel moderaten Qualifikationsanforderungen erfüllt werden und entsprechende organisatorische Strukturen bestehen. Zur Informationsbereitstellung bei komplexen Aufgaben wird bereits eine Vielzahl weiterführender (integrationsförderlicher) technischer Lösungen wie interaktiver Multimedia-Systeme genutzt.

Der Einwirkungsort der Belastungen am Menschen kann nur bedingt pauschalisiert werden. Meistens handelt es sich um Arbeiten in natürlicher Taillen- und Brusthöhe im optimalen Beidhandgriffbereich. Bei großen Produkten mit komplexen Geometrien sind selbst bei montagegerechter Gestaltung Zwangshaltungen und hohe Fingerbelastungen teilweise unvermeidlich. Besonders beanspru-

chende Arbeiten im Knien, in stark gebückter Haltung sowie über Schulter- oder Kopfhöhe können teilweise durch Hilfsmittel reduziert werden. In Abbildung 20 sind die diskutierten potenziell integrationshemmenden Belastungen für die verschiedenen Montageorganisationsformen zusammengefasst.

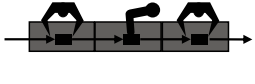
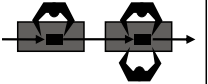
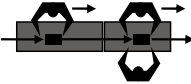






Bereiche der Montage				
Variantenneutrale Vormontagen Taktstraßenmontagelinie	Variantenflexible Endmontage		Kundenindividuelle Sondermontagen	
	Reihenmontagelinie	Kombinierte Fließmontagelinie	Einzelplatzmontage	Inselmontage
				
<ul style="list-style-type: none"> • Enormer Zeitdruck durch strenge Bindung an den Takt • Daueraufmerksamkeit • Andauerndes Heben und Tragen mittlerer Gewichte 	<ul style="list-style-type: none"> • Heben und Tragen über weite Wege • Haltnungsarbeit • Tätigkeitswechsel eingeschränkt, i. d. R. auf dauerhaftes Stehen oder Sitzen • Zeitbindung 	<ul style="list-style-type: none"> • Kein Tätigkeitswechsel, sondern andauernde Bewegung • Wiederkehrendes Heben und Tragen schwerer Lasten • Zwangshaltungen • Hoher psychischer Druck und Zeitdruck 	<ul style="list-style-type: none"> • Geringfügige Haltnungsarbeit • Geringfügig erhöhte Fügekräfte • Teilweise hohe sensumotorische Anforderungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Haltnungsarbeit in Verbindung mit Haltnungsarbeit • Teilweise erhöhte Füge- und Handhabungskräfte • Teilweise erhöhte sensumotorische Anforderungen
Legende:  Arbeitsplatz  Mitarbeiter  Montageobjekt  Bewegung				

Abbildung 20: Potenzielle Integrationshemmnisse für leistungsgewandelte Mitarbeiter bei verschiedenen Montageorganisationsformen und Arbeitsplatzgestaltungen

Für eine verstärkte Integration Leistungsgewandelter können aus dem Abgleich der dargestellten typischen Anforderungs- und Leistungsprofile folgende Gestaltungsvorgaben abgeleitet und priorisiert werden:

- Das variable Zubringen von Bauteilen und das Fixieren derselben während des Fügevorgangs stellen unvermeidliche Belastungsquellen in der manuellen Montage dar. Erkrankungen und Verletzungen im Bereich des Gelenk-, Muskel- und Stützapparates (insbesondere der Wirbelsäule) reduzieren die maximal und dauerhaft erreichbaren Stellungen mitunter beträchtlich, ebenso Betätigungs-, Hebe- oder Haltekräfte. 41,5 % der von leistungsgewandelten Mitarbeitern erfassten Einschränkungen beim betrachteten Automobilhersteller betreffen die ABA-Kriterien „Handhaben von Lasten“, „Beweglichkeit des Rumpfes“, „Arbeiten über Schulterhöhe“ und „Muskelbelastung der Arme“ (siehe Tabelle 5). Die Einschränkungen verlangen in der Regel keine vollständige Eliminierung dieser Belastungen, sondern vielmehr eine Reduzierung auf die in Abschnitt 3.4 aufgezeigten, als unkritisch zu betrachtenden Minimalwerte. Derzeit nicht absehbar ist eine deutliche Reduzierung von

Hubzahl, Trageweg, Haltedauer oder Bauteilmasse angesichts zunehmend funktionsoptimierter Bauteile und dementsprechend sinkender Taktzeiten auf dichtest gepackten Multivariantenlinien. Daraus resultiert:

Gestaltungsvorgabe I: Handhabungshilfsmiteinsatz

Für das Handhaben von Bauteilen im Sinne der Integrationsförderlichkeit ist bereits eine Unterstützung bzw. Entlastung anzustreben, wenn häufig mittlere Lasten (< 8 kg, im Minutentakt), selten erhöhte Lasten (> 8 kg) sowie weite Greifwege (> 60 cm) und ungünstige Haltungen (Rumpf-Drehung > 15° und/oder Beugung > 30°) auftreten.

- Beschwerden im Bereich des menschlichen Stützapparates zuzüglich Weichteil- und Gefäßerkrankungen beeinträchtigen neben der Beweglichkeit vor allem das dauerhafte Aufrechterhalten der geforderten Arbeitsposition. Einschränkungen bei den ABA-Merkmalen „Stehen, Gehen, Sitzen“, „Beweglichkeit des Rumpfes“, „Beweglichkeit der Kniegelenke“ und „Arbeiten über Schulterhöhe“ summieren sich auf 35,5 % der Nennungen (siehe Tabelle 5). Beim Kriterium „Stehen, Gehen, Sitzen“ (= körperliche Grundhaltungen) können je nach Krankheitshintergrund sehr vielfältige individuelle Einschränkungen auftreten. Vom Sitzen über Gehen zum Stehen steigt aufgrund der erhöhten Anzahl dafür erforderlicher (und möglicherweise geschädigter) Muskelpartien und Gelenke die Beanspruchung besonders bei älteren und leistungsgewandelten Mitarbeitern. Die Nachteile sitzender Tätigkeit wie die mögliche Einzwängung innerer Organe, die Beeinträchtigung des venösen Rückflusses aus den Beinen und Muskelverspannungen sind demgegenüber zu vernachlässigen und können durch „trainiertes aktives Sitzen“ (mit bewussten kleinen Bewegungen; vgl. SCHULTETUS 1987) nahezu eliminiert werden. Dementsprechend selten treten zeitliche Beschränkungen der maximal sitzend ausführbaren Tätigkeit auf, im Gegensatz zur Häufigkeit der Einschränkungen beim Stehen und Gehen (siehe auch Beispielauswertung in Abbildung 65 im Anhang). Daraus folgt:

Gestaltungsvorgabe II: Haltungsoptimierung und -unterstützung

Der Abbau von Integrationshemmnissen erfordert neben der dauerhaften Sicherstellung ergonomischer Ausführungsbedingungen (Arbeitshöhe und Bewegungsraum) und der Vermeidung von Tätigkeiten unter Zwangshaltungen eine zusätzliche Unterstützung beim Aufrechterhalten der vorgesehenen körperlichen Grundhaltung.

- Die restlichen Krankheiten wirken sich eher unspezifisch auf die Arbeitsfähigkeit in der Montage aus und erfordern in erster Linie größere zeitliche Freiräume zur Leistungserbringung. Die ABA-Kriterien zu eingeschränkten Einsatzfähigkeiten an „taktabhängigen Arbeitsplätzen“ mit „Leistungsentlohnung“ sowie zu reduzierter „Informationsaufnahme“ summieren sich auf 12,9 % (siehe Tabelle 5). Damit ist zu postulieren:

Gestaltungsvorgabe III: Flexibilisierung der Leistungserbringung

Integrationsmaßnahmen sollten die freie Wählbarkeit der persönlichen Verteilzeit (im Rahmen von ein bis fünf Minuten) sicherstellen. Die Flexibilität bei der Leistungsabgabe über einen Schichtzeitraum sollte sich idealerweise an der untertäglichen Schwankungsbreite des menschlichen Biorhythmus (mit ca. 30 %) orientieren. Das gilt auch für die Informationsaufnahme.

Den restlichen Einschränkungen aus Tabelle 5 wie der „Schichtarbeitsfähigkeit“ kann allein mit (bestehenden) organisatorischen Maßnahmen begegnet werden. „Fahr- und Steuertätigkeiten“ sowie erhöhte „Unfallgefahren am Arbeitsplatz“ treten in direkt wertschöpfenden Montagebereichen nicht in nennenswertem Umfang auf.

4.4 Zusammenfassung und allgemeine Vorgaben

Neue, erweiterte Maßnahmen und Vorgehensweisen zur Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter müssen an den gegenwärtigen wirtschaftlichen Herausforderungen orientiert werden: Für die Integrationshemmnisse durch das *Handhaben von Lasten*, die *Haltungsanforderungen* und die *unflexible Leistungserbringung* sind entsprechend den *Gestaltungsvorgaben I bis III* neue oder weiterführende (integrationsförderliche) technisch-strukturelle Maßnahmen zu entwickeln und differenziert zu betrachten (siehe Kapitel 5). Neben den dominierenden Basis- und Verkettungseinrichtungen sind auch die Werkzeuge, die Hilfsmittel, die Material- und Informationsbereitstellung sowie die Anordnung derselben als mögliche Belastungsquellen ganzheitlich zu berücksichtigen. Zur Vermeidung einer Erhöhung der Personalkosten sind die leistungsgewandelten Arbeitnehmer in direkt wertschöpfende Montagebereiche zu integrieren. Bestehende und international konkurrenzfähige Produkt- und Organisationsstrukturen sind beizubehalten. Das gilt in besonderer Weise für die Montageorganisationsform und die resultierende grundlegende Arbeitsplatzgestaltung. Um den Aufwand, die Kom-

plexität und die Kosten vor allem in der frühen Produktionsplanungsphase nicht weiter zu steigern, ist der Fokus auf gezielte, gegebenenfalls fallspezifische und reversible Integrationsmaßnahmen zu legen. Angesichts der Vielfältigkeit und Veränderlichkeit menschlicher Eigenschaften ist es weder wirtschaftlich lohnend noch technisch möglich, alle Arbeitsplätze hinsichtlich sämtlicher altersrelevanter Kriterien vollständig zu optimieren. Dennoch dürfen die zu entwickelnden Maßnahmen und Vorgehensweisen nicht zur Stigmatisierung und Ausgrenzung Betroffener führen. Abschließend sind die Maßnahmen und Empfehlungen übersichtlich zusammenzufassen und in ein pragmatisches und branchenübergreifend anwendbares Integrationsvorgehen für die variantenreiche Serienmontage einzubetten (siehe Kapitel 6). Dazu ist, soweit möglich, auf bestehende Methoden und Hilfsmittel zurückzugreifen. Die Wirksamkeit der Maßnahmen muss vor allem kurz- und mittelfristig gesichert sein, um den akut wachsenden Integrationsbedarf zu decken. In Kapitel 5 folgt nun zunächst die Erarbeitung von technisch-strukturellen Integrationsmaßnahmen jeweils separat für die drei Gestaltungsvorgaben.

5 Differenzierte Betrachtung technisch-struktureller Integrationsmaßnahmen

5.1 Einsatz von Handhabungshilfsmitteln

5.1.1 Ansatzpunkte und Restriktionen

Die Belastung beim *Handhaben von Lasten* (hier: Zubringen und Fixieren von Bauteilen in der Montage) resultiert in erster Linie aus der Anzahl und der Gewichtskräfte der zu handhabenden Massen sowie aus den jeweiligen Tragewegen oder der Haltedauer während des Betrachtungszeitraums (in der Regel eine volle Schicht von ca. acht Stunden). Bei der Last handelt es sich um die Anteile von Gewichtskraft und Drehmoment, die tatsächlich vom Mitarbeiter aufgebracht werden müssen und die nicht an anderen Gegenständen oder Hilfsmitteln abgestützt werden können. Entscheidend für die maximal erreichbaren Kräfte und damit für die handhabbaren Lasten ist es, wie körpernah der Objektschwerpunkt liegt, ob die Greifpunkte auf einer gedachten Linie in Richtung der Kraft liegen und kein zusätzliches Kippmoment erzeugen, außerdem welche Muskelpartien dafür aktiviert werden können (siehe Tabelle 7).

MAXIMALE STATISCHE AKTIONSKRÄFTE BEIM HEBEN EINES STAPELKASTENS (560 MM) IN:	EINFASSUNG AUF 1.350 MM HÖHE		UNTERFASSUNG AUF 150 MM HÖHE	
	Männer	Frauen	Männer	Frauen
95. Kraftperzentil:	570 N	268 N	1324 N	689 N
50. Kraftperzentil:	417 N	186 N	971 N	470 N
5. Kraftperzentil:	268 N	123 N	587 N	256 N

Tabelle 7: Erreichbare Aktionskräfte des Menschen beim Heben eines Stapelkastens in Abhängigkeit von der Fassung und der Aufnahme-lage (SCHMIDTKE & RÜHMANN 1992)

Für die menschliche Beanspruchung, insbesondere der Gelenke, ist neben den individuellen körperlichen Leistungsvoraussetzungen die Haltung während der Ausführung der Tätigkeiten von zentraler Bedeutung. Vorrangig zu beachten sind die notwendigen oder möglichen Körperhaltungen beim Aufnehmen und Absetzen der Last, vor allem wenn Ausgangs- und Endposition nicht auf Tragehöhe (= Taillenhöhe) liegen. Im Vergleich zur optimalen aufrecht stehenden Hal-

tung liegen die erreichbaren Werte bei gebücktem Rumpf oder über Schulterhöhe bereits bei gesunden Menschen um ein Vielfaches niedriger (vgl. DIN 33 411-1 (1982)). Zudem werden bei ungünstigen Ausführungsbedingungen und Körperhaltungen neben den Hand-, Arm- und Schultergelenken (links und/oder rechts) auch die Fuß-, Knie- und Hüftgelenke stark beansprucht. Damit fließen neben der maximalen Hand- und Hubkraft auch die Dauerleistungsfähigkeit des Mitarbeiters, die Körper- und Handgröße sowie die Belastbarkeit aller betroffenen Gelenke in die Beanspruchung mit ein. Ebenfalls belastend, wenngleich in weit geringerem Umfang, wirken die sonstigen Ausführungsbedingungen wie ausreichendes Platzangebot, rutschfester Boden sowie gute klimatische Raumbedingungen. Für die betriebliche Bewertung und die Beseitigung potenzieller Gesundheitsgefährdungen hat der Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik, angelehnt an den amerikanischen NIOSH-Ansatz für das Heben und Tragen, eine Handlungsanleitung mit den Leitmerkmalen „Zeit“, „Last“, „Haltung“ und „Ausführungsbedingungen“ entwickelt. Dieses Vorgehen wurde auch in das Profilvergleichssystem ABA integriert (siehe Abschnitt 3.5.2). Abbildung 21 zeigt ausgehend von der Anthropometrie und Physiologie des Hebens und Tragens die Gesundheitsgefährdung auf der Basis einer entsprechenden Risikozahl nach der Leitmerkmalsmethode. Der vollständige Erhebungsbogen ist in Abbildung 62 und Abbildung 63 im Anhang zu finden. Die Zusammenhänge und Werte gelten in ähnlicher Weise für statische Haltekräfte beim Fixieren von Bauteilen während des Fügevorgangs. Für das Ziehen und Schieben von Lasten ist eine gesonderte (Risiko-)Beurteilung nach ähnlichem Muster erforderlich (PERNACK U. A. 2002).

Zur Vermeidung von körperlichen Schädigungen durch das Handhaben von Lasten sind die Gewichtskräfte möglichst gering (< 8 kg Masse) zu halten. Die Handhabungsbewegung ist gleichmäßig und mit gestrecktem Rücken direkt vor dem Körper auszuführen, damit die natürliche Wirbelsäulenkrümmung aufrechterhalten und die Bandscheiben weitgehend konstant, symmetrisch und ohne Torsion und Scherung belastet werden. Die Einwirkungsdauer, zu ermitteln über die Hubanzahl, die Haltezeit oder den Trageweg, ist zu beschränken und durch längere Pausen zu unterbrechen, um eine ausreichende Nährstoffversorgung der nicht direkt durchbluteten Gelenkzellen zu ermöglichen (siehe Abbildung 21; vgl. PERNACK U. A. 2001).

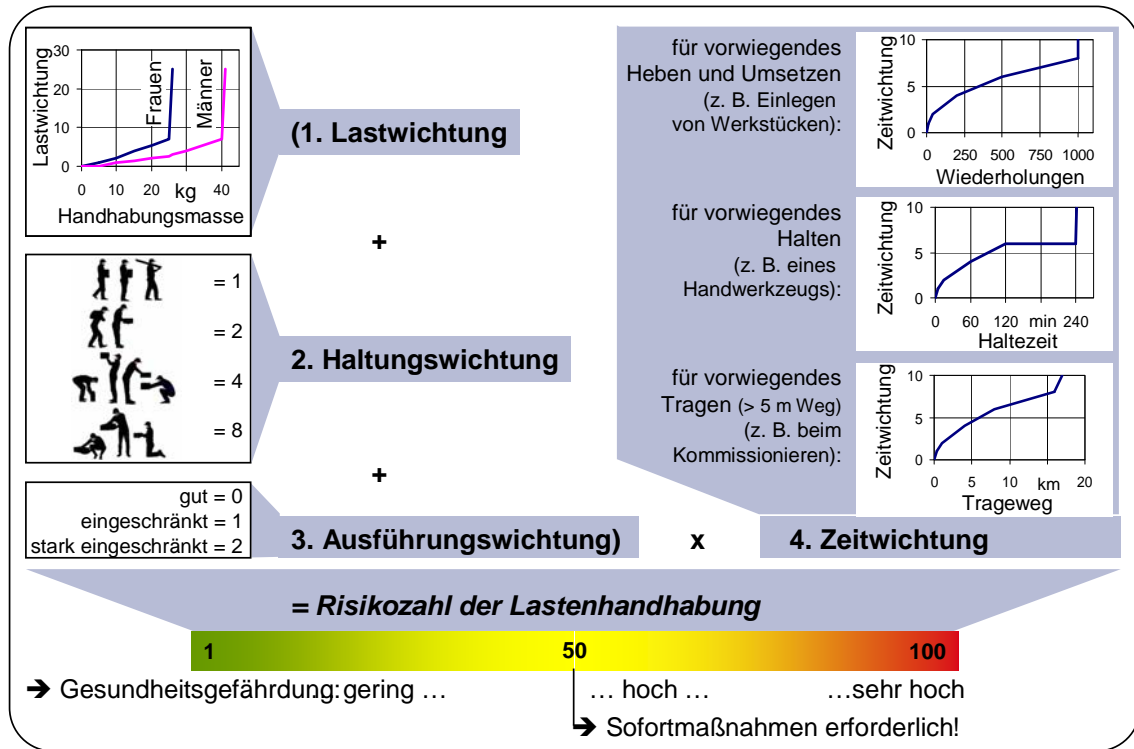


Abbildung 21: Beurteilung des Gesundheitsrisikos beim Handhaben von Lasten mittels Risikozahl nach PERNACK U. A. (2001)

Bei detaillierter Betrachtung all dieser Belastungs- und Beanspruchungsfaktoren sind erhöhte Anstrengungen, über die Empfehlungen bezüglich Grenzwerten für leistungsgewandelte Mitarbeiter aus Tabelle 3 auf Seite 41 hinaus, beim Aufnehmen, Abgeben und Halten von Bauteilen fast unvermeidbar (vgl. HESSE U. A. 2001, PERNACK U. A. 2001). Bereits bei geringen Lasten (< 8 kg) kann infolge leicht gebückter Haltung (< 30°) und mittlerer Auslenkung der Gliedmaßen die generelle Beanspruchungsgrenze, vor allem diejenige erkrankter Gelenke, überschritten werden. Hinzu kommt aufgrund des hohen Kostendrucks bei variantenflexiblen Einliniensystemen eine stete Reduzierung der Taktzeiten. Wiederholungen im Minutentakt verringern in ähnlicher Weise wie die Entfernung des Lastangriffspunktes vom Körper die zulässigen Gewichtskräfte (siehe Abbildung 21).

GESTALTUNGS- BEREICH	MANUELLE HANDHABUNG	TEILAUTOMA- TISIERUNG	VOLLAUTO- MATISIERUNG
Arbeitsinhalt	Größe, Masse und Bewegungen be- schränkt	Keine Restriktionen	Automatisierungs- gerechte Prozessges- taltung (v. a. bzgl. Objekterkennung, Toleranzen und vari- ierender Abläufe)
Basiseinrichtungen	Beachtung des menschlichen Funk- tionsraumes	Aufhän- gung/Fundamentieru- ng und Beachtung des menschlichen Funktionsraumes notwendig	Fundamentierung, Absicherung gegen menschlichen Ein- griff
Verkettung	Beachtung des menschlichen Funk- tionsraumes	Evtl. Anpassung notwendig	Vollständige Kopp- lung und Anpassung notwendig
Bereitstellung	Beachtung des menschlichen Funk- tionsraumes	Greifbarkeit notwendig	Vollständige Kopp- lung und Anpassung notwendig, bis hin zur Bauteilgestaltung
Werkzeuge/ Hilfsmittel (= Montagemittel)	Masse und Betäti- gungskräfte be- schränkt	Ggf. integrierbar	Nicht notwendig, bzw. integriert
Informationsbereit- stellung/Steuerung	Je nach Umfang des Arbeitsinhaltes	Optional	Kopplung an die Anlagensteuerung
Anordnung/Layout	Keine Restriktionen	Arbeitsraum nur beschränkt erweiterbar	Anpassung notwendig

Tabelle 8: Restriktionen und Änderungsanforderungen teil- und vollautomatisierter Montage- und Handhabungssysteme gegenüber rein manuellen (vgl. BOOTHROYD U. A. 2002, HESSE U. A. 2001, LAY & SCHIRRMEISTER 2000)

Die Notwendigkeit und die Art manueller Tätigkeiten in der variantenreichen Serienmontage wurden bereits an mehreren Stellen dieser Arbeit beleuchtet. Um die Bauteile bzw. Baugruppen, die Transportgebände und die Anlieferflächen möglichst frei und variabel gestalten oder ändern zu können, bietet sich in hybriden Montagesystemen neben der Fügeüberwachung vor allem die Übertragung

der Bauteilzubringung und -positionierung auf den Mitarbeiter an. Die spezifische Kompetenz des Menschen liegt in der flexiblen Erkennung unterschiedlicher Objekte und Objektlagen, der hervorragenden Eignung der Hände zum Greifen verschiedenster Gegenstände und der Fähigkeit zur flexiblen Abarbeitung variierender Aufträge. Das Aufbringen und Aufrechterhalten von Kräften sowie das präzise Fixieren von Montageobjekten lässt sich mit mechanisierten/teilautomatisierten Einrichtungen hingegen deutlich zuverlässiger gewährleisten. Für die Eliminierung der verbliebenen hohen körperlichen Belastungen unter Beibehaltung maximaler Flexibilität, wie in *Gestaltungsvorgabe I* gefordert, bietet sich angesichts des fortgeschrittenen Stands der Technik (siehe 3.5.5) dementsprechend eine Ausweitung des Einsatzes von Handhabungshilfsmitteln an. Manipulatoren und Balancer sollten auch für die Handhabung kleiner und mittlerer Lasten (Masse $\ll 20$ kg) verwendet werden (vgl. REINHART U. A. 2006). Tabelle 8 zeigt die Vor- und Nachteile einer weitergehenden Mechanisierung bzw. Teilautomatisierung durch Handhabungshilfsmittel (z. B. Manipulatoren) im Vergleich zur Beibehaltung einer rein manuellen Arbeitsgestaltung beziehungsweise einer nachträglichen Vollautomatisierung.

Die Ausweitung des Einsatzes von Handhabungshilfsmitteln erhöht den Gestaltungsspielraum beim Arbeitsinhalt und bei der Materialbereitstellung. So können zusätzliche oder schwerere Werkzeuge verwendet oder höhere Gewichtskräfte und größere Fügekräfte aufgebracht werden. Zudem können weitere Wege überbrückt und auch ungünstige Positionen erreicht werden. Restriktionen ergeben sich beim Greifen und Fördern von (instabilen) Bauteilen mit stark variierenden Geometrien, Lagen und Orientierungen sowie bei der Gestaltung des Arbeitsplatzaufbaus. Der Teilautomatisierungsansatz trägt prinzipiell den japanischen Gedanken zur effizienten Arbeitsgestaltung Rechnung, dem Mitarbeiter Systeme und Betriebsmittel zur Seite zu stellen, die dieser permanent überwacht bzw. in die er bei komplexen Ausrichtungs-, Füge- oder Prüftätigkeiten stets eingreift. Die Anforderungen vollautomatisierter Lösungen können nachträglich nur schwer erfüllt werden. Das Fehlen einer automatisierungsgerechten Bauteil- und Prozessgestaltung beeinträchtigt neben der Wirtschaftlichkeit (durch den erhöhten Anpassungs- und Projektierungsaufwand) auch die Verfügbarkeit. Die geringeren Anforderungen an die Anlagenperipherie beim Einsatz von Manipulatoren (siehe Abschnitt 3.5.5) stellen auch bei nachträglicher Applikation in keiner Montageorganisationsform ein Anwendungshindernis dar. Mitfahrkinematiken ermöglichen einen Einsatz auch an kontinuierlich bewegten Montageobjekten. Manipulatoren bieten darüber hinaus Potenzial für die Entwicklung mobiler und

anpassbarer Hilfsmittel zur gezielten Unterstützung Leistungsgewandelter an unterschiedlichen Arbeitsplätzen. Bei den Antrieben und Greifern kann inzwischen auf ein breites Spektrum an marktverfügbaren, standardisierten Komponenten zurückgegriffen werden. Balancer und Kraftmanipulatoren werden bereits für ein Bauteil- und Baugruppenspektrum ab 1 kg bis 2 kg angeboten. In etwa ab diesen Lasten übertreffen die Gewichtskräfte die Beschleunigungs- und Reibkräfte zur horizontalen Bewegung der meist nicht angetriebenen rollengelagerten Manipulormasse. Die hohe Leistungsfähigkeit in Kombination mit standardisierten Schnittstellen erhöht zudem die Wiederverwendbarkeit von Manipulatoren.

Kraftmanipulatoren und Balancer reduzieren gleichermaßen die notwendigen Körperkräfte auf ein auch für leistungsgewandelte Mitarbeiter dauerhaft erreichbares Niveau. Die Nutzung von Hebelmechanismen wie verlängerter Greifer oder zusätzlicher Hilfsmittel, deren Gewichtskraft ebenfalls vom Manipulator aufgenommen werden kann, bietet weiteres Potenzial zur Reduzierung ungünstiger Haltungen oder zur Verringerung der Gehwege, entsprechend den geforderten Gestaltungsvorgaben (aus Abschnitt 4.3).

5.1.2 Hemmnisse beim Einsatz von Manipulatoren für mittlere und geringe Bauteilmassen

Der derzeitige Einsatz handgeführter Manipulatoren gewährleistet, wie in Abschnitt 3.5.5 gezeigt, in erster Linie die Ausführbarkeit und Schädigungslosigkeit von Handhabungsaufgaben, die ein Mitarbeiter alleine nicht bewerkstelligen kann und für die eine Vollautomatisierung nicht wirtschaftlich oder technisch nicht verfügbar ist. Aufgrund der gesunkenen Anschaffungskosten wurden in den letzten Jahren auch für mittlere Gewichtskräfte (bei Werkstücken mit < 20 kg Masse) erstmals Manipulatoren zur Verfügung gestellt. Diese fanden jedoch durchweg nur geringe bis gar keine Akzeptanz bei den Werkern, wie die Aussagen der Experten einhellig belegen (PERNACK U. A. 2002, S. 10; REINHART U. A. 2006). Die Auswertung verschiedener Manipulatorprojekte für diese Arbeit ergab, dass die Anwender bzw. Planer für die Angebotseinholung lediglich einfache Skizzen oder im Falle von Umplanungen oder Produktveränderungen bereits vorliegende Arbeitsplatzbeschreibungen an die Hersteller versenden. Deshalb fokussiert das von HESSE U. A. (2001) gemeinsam mit Manipulatorherstellern entwickelte Projektierungsvorgehen die zielgerichtete Informationseinholung bzgl. der baulichen Integration an den bestehenden Arbeitsplätzen unter Beibehaltung

der bisherigen Arbeitsabläufe bezüglich Anzahl und Art der Handhabungsoperationen. Ausgehend vom Ist-Zustand des Arbeitsplatzes werden die aufzunehmenden Objekte, die notwendigen Manipulationen sowie weiterführende Angaben zur Sicherheit und zum Investitionsspielraum in einer Checkliste erfasst und grundlegende Bauformen von Manipulatoren empfohlen (siehe Abschnitt 3.5.5).

Bei der Manipulation mittlerer und geringer Massen ist ein gesunder und teilweise auch ein leistungsgewandelter Mitarbeiter physisch nicht unmittelbar gezwungen, das Handhabungshilfsmittel zu verwenden. Die Verringerung der Beanspruchung ist für den Werker nicht innerhalb einer Schicht oder weniger Tage erfahrbar beziehungsweise fühlbar, da Verschleiß- oder Überlastungserscheinungen einen deutlich längeren Einwirkungszeitraum voraussetzen. Gegenüber der rein manuellen Erledigung von Handhabungsoperationen stellt die Verwendung nach dem beschriebenen Vorgehen implementierter Manipulatoren in der Regel einen zeitlichen Mehraufwand und eine Reduzierung der individuellen Verteilzeit dar, und zwar immer dann, wenn die Möglichkeit zur Vorarbeit in Puffer gegeben ist. Zusätzlich zu den Hauptzeiten „Bauteil greifen“, „Bewegen“ und „Bauteil ablegen“ addieren sich nicht wertschöpfende Nebenzeiten (siehe Primär-Sekundär-Analyse; vgl. LOTTER U. A. 1998) durch das „Suchen“, „Greifen“, „Beschleunigen“, „Loslassen“ und eventuell das „Rückführen“ des Manipulators. Die einzelnen (Zusatz-)Zeitanteile bewegen sich zwar nur zwischen 0,2 und maximal 5 Sekunden (HESSE U. A. 2001, S. 35), beanspruchen damit aber bei geringen Taktzeiten (ab ca. 30 s) in etwa dieselbe Höhe wie die persönliche Verteilzeit. Außerdem wird der Greifvorgang erschwert. Die Feinpositionierung, vor allem überdimensionierter Manipulatoren für Lasten von ca. 20 kg, erfordert sehr feinfühlig, gering dosierte Bewegungsvorgaben der Hand des Bedieners, denen der Manipulator verzögert folgt. Erst verformt sich der Manipulator lateral durch Biegung oder vertikal durch Dehnung, dann kommt es zum Überschwingen, nachdem die Haftreibung überwunden ist und die niedrigere Rollreibung einsetzt beziehungsweise die Bewegungssteuerung anspricht. Eine weniger sensible Einstellung erhöht den Bereich, in dem der Mitarbeiter körperlich beanspruchende Verformungsarbeit leisten muss, wohingegen eine zu leichtgängige Einstellung zusätzliche Einregelungs- bzw. Einpendelungszeit erfordert. Die Anpassungsfähigkeit der menschlichen Haut in Kombination mit dem Tastsinn baut demgegenüber eine extrem schnelle Informationsrückkopplung auf und eliminiert Wartezeiten zwischen den Vorgängen „Positionieren“ und „Greifen“ oder „Loslassen“ fast vollständig. Bereits die reinen Betätigungszeiten auf das Bauteil abgestimmter Greifer mit nachgiebigen Elementen und Einführschrägen liegen dar-

über. Eine zusätzliche Erschwernis für den Werker stellt die Koordination des verlängerten oder von der Hand wegversetzten Kraftangriffspunkts dar. Eher psychologisch nachteilig wirken sich bei der Verwendung von Handhabungshilfsmitteln die auf den Auslegebereich beschränkte Bewegungsfreiheit und das reduzierte Selbstoptimierungspotenzial des Mitarbeiters an seinem Arbeitsplatz aus. Die Vorgabezeiten sehen in der Regel eine sequenzielle Abarbeitung der Montageoperationen vor. Die Parallelisierung beispielsweise von Positionier-, Betätigungs-, Füge- und Prüfoperationen eventuell in Kombination mit arbeitssicherheitskritischem Mehrfachhandling verschafft dem Monteur demgegenüber einen persönlichen Zeitgewinn. Definierte Bewegungsbahnen und (oftmals sicherheitsbedingt) sequentielle Schaltabläufe herkömmlicher Handhabungshilfsmittel verringern diese Freiheiten. Im Rahmen des Anwendungsbeispiels (siehe Kapitel 7) und auf Kongressen befragte Experten nennen als Hemmnisse auch psychologische Gründe, wie das vermeintlich leistungsorientierte „Zeigen von Stärke“. Diese Beobachtungen spiegeln sich bei arbeitserleichternden Hilfsmitteln generell wider. Sofern zusätzliche Betriebsmittel nicht unbedingt erforderlich sind, bzw. deren Nutzen nicht unmittelbar für den Werker spürbar wird, überwiegt die vermeintliche Bequemlichkeit und damit das Verharren im Bestehenden.

5.1.3 Integrierte Manipulator- und Arbeitsplatzgestaltung

Die wirtschaftlichen Aspekte und die Notwendigkeit der Akzeptanz durch den Mitarbeiter erfordern bei einem erweiterten Einsatz von Handhabungshilfsmitteln für mittlere und geringe Massen (zur Integration Leistungsgewandelter) zwingend die Beseitigung der zeitlichen und psychologischen Nachteile. Dazu muss das Potenzial von Manipulatoren ganzheitlich unter Betrachtung der gesamten Montagesystemgestaltung genutzt werden. Die Manipulatorkonzeption darf sich dabei nicht allein auf die Auswahl marktüblicher Geräte oder die Kopie bestehender Manipulatorarbeitsplätze beschränken. Im Folgenden werden dazu die Möglichkeiten von Manipulatoren detailliert analysiert. Insbesondere sollen aus den dargestellten Einsatzhemmnissen durch eine umgekehrte Argumentation erweiterte Gestaltungsrichtlinien für Manipulatoren bei geringen und mittleren Massen abgeleitet werden, um Ergonomie und Effizienz zu verbinden. Da eine Entlastung beim Heben und Tragen grundsätzlich die Gesundheitserhaltung aller Mitarbeiter fördert, nützen diese Betrachtungen und Maßnahmen nicht nur Leistungsgewandelten. Damit wird die Gefahr einer motivationsmindernden Stigmatisierung dieser Hilfsmittel minimiert.

Wirkungserweiterung

Eine zusätzliche Integration von Werkzeugen, wie z. B. Schraubern, in den Endeffektor des Manipulators reduziert nicht-wertschöpfende Greif-, Positionier- und Suchzeiten. Damit kann der Bediener beispielsweise, ähnlich wie bei der rein manuellen Handhabung, bereits während des Werkstücktransfers das Werkstück zum Werkzeug ausrichten. Zudem erzwingt die Ablaufintegration die Verwendung des Manipulators. Einen weiteren Anreiz zur Verwendung von Handhabungshilfsmitteln bei weniger schweren Bauteilen bieten Mehrfachgreifer. Sofern es die Bauteilabmaße zulassen, kann damit ohne Mehrbelastung des Nutzers die Ausbringung deutlich gesteigert werden. Das gleichzeitige/parallele Handhaben muss sich nicht auf Gleichteile beschränken. Allerdings stellt eine Bauteilmischung am Greifer höhere Anforderungen an die Bereitstellung und die Vereinzelung. Die verschiedenen Bauteile müssen in der richtigen Reihenfolge und der passenden Aufnahmeposition für den Manipulator vorliegen. Für Doppelgreifer bietet sich dazu Beidhandbetrieb an, indem jede Hand einzeln einen Greifer feinpositioniert und die Last zentral vom Manipulator aufgenommen wird. Weiteres Potenzial lässt sich erschließen, wenn der Manipulator auch zum Aufbringen von Fügekräften genutzt wird und damit eine separate Mechanisierung am Arbeitsplatz, beispielsweise durch eine Presse oder Fixiervorrichtung, ersetzt werden kann. Der Nutzen und damit die Akzeptanz kann weiter gesteigert werden, wenn aus dem Manipulatoreinsatz Vorteile für die Prozesssicherheit und -qualität erwachsen. Dazu ist weiterhin zu überprüfen, ob er beispielsweise Fehlhandhabung, Kollision, etc. vermeidet. Gegebenenfalls genügen hierfür einfache, ohnehin vorhandene Sicherheitsschaltungen oder -maßnahmen, bspw. für Stromausfall oder unfreiwilliges Loslassen.

Verlustzeitminimierung

Sofern die Handhabungsgewichtskräfte nur geringfügig variieren (ca. +/- 1 kg bzgl. der Masse) sollte zugunsten einer leicht erhöhten Gewichtsvoreinstellung auf eine Gewichtsausgleichsregelung verzichtet werden. Durch einfaches Aufstützen der Hände des Werkers beim Führen des Manipulators kann ein leichter Zug nach oben einfach kompensiert werden. Dafür entfällt die Einregelungszeit bei der Bauteilaufnahme. Selbsttätige Greifer helfen unnötige Wartezeiten beim Schließen/Verriegeln zu vermeiden. Den einfachsten Fall stellen mechanische Scherengreifer mit Federschnappmechanismen dar. Bei robusten Bauteiloberflächen kann die Kontaktkraft beim Aufsetzen des Greifers an der definierten (kratzresistenten) Greifzone des Bauteils über Schrägen zum Öffnen des Greifers

genutzt werden und die Federkraft zum anschließenden Verriegeln (siehe Abbildung 22 a). Bei der Bauteilabgabe wird wiederum die Kontaktkraft verwendet, um den Greifer zu öffnen und die Feder für den nächsten Vorgang wieder zu spannen. Bei erhöhten Sicherheitsanforderungen kann der Vorgang sensorisch überwacht und die Verriegelung zusätzlich durch aktorische Komponenten unterstützt werden. Bei empfindlicheren Bauteilen ist auf eine weitgehend berührungslose Sensorik (z. B. mittels Induktion) zurückzugreifen und der Greifer ist durchweg aktiv anzusteuern. Ebenfalls selbsttätig funktionieren vielfach Unterdruckgreifer. Erst wenn ein ausreichender Teil der Greiferfläche am Bauteil aufliegt, reicht der Unterdruck zum Abheben aus. Der schonenden Bauteilbehandlung stehen jedoch erhebliche Nachteile beim Energieverbrauch zur Erzeugung des Unterdrucks sowie bei der Sicherheit gegenüber, sobald zusätzliche Kräfte in Ablöserichtung wirken. Elektromagnetische Greifer sind bei ferromagnetischen oder magnetisierbaren Werkstoffen nur in seltenen Fällen empfehlenswert. Zum einen kann die meist unvermeidbare Restmagnetisierung metallische Verunreinigungen anziehen und zum anderen ist für eine sichere Handhabung eine hohe magnetische Masse erforderlich. Zusätzliche mechanische, akustische oder optische Signale zur Informationsrückmeldung an den Bediener reduzieren Justage- und Wartezeiten sowie die Gefahr von Fehlbedienungen des Greifers. Außerdem erleichtern sie den Umgang mit dem Hilfsmittel, da sie den Verlust des Tastsinns durch den Greifer teilweise kompensieren.

Vor allem beim Manipulatoreinsatz an kontinuierlich bewegten Objekten ist es hilfreich, die Rückführung des Manipulators automatisiert vorzunehmen, wenn auf den Zubringvorgang eine längere manuelle Montagetätigkeit folgt. Meist ist dafür nur eine unpräzise und damit kostengünstig zu realisierende Bewegungsbahn erforderlich. Mehrachssysteme, die den Montagemitarbeiter auch beim Aufbringen lateraler Beschleunigungskräfte unterstützen, bieten diese Funktion vielfach bereits an (siehe Abbildung 22 b). Wichtig ist, dass sowohl die Kinematik als auch der Endeffektor aus dem Werkerinteraktionsbereich herausgenommen werden.

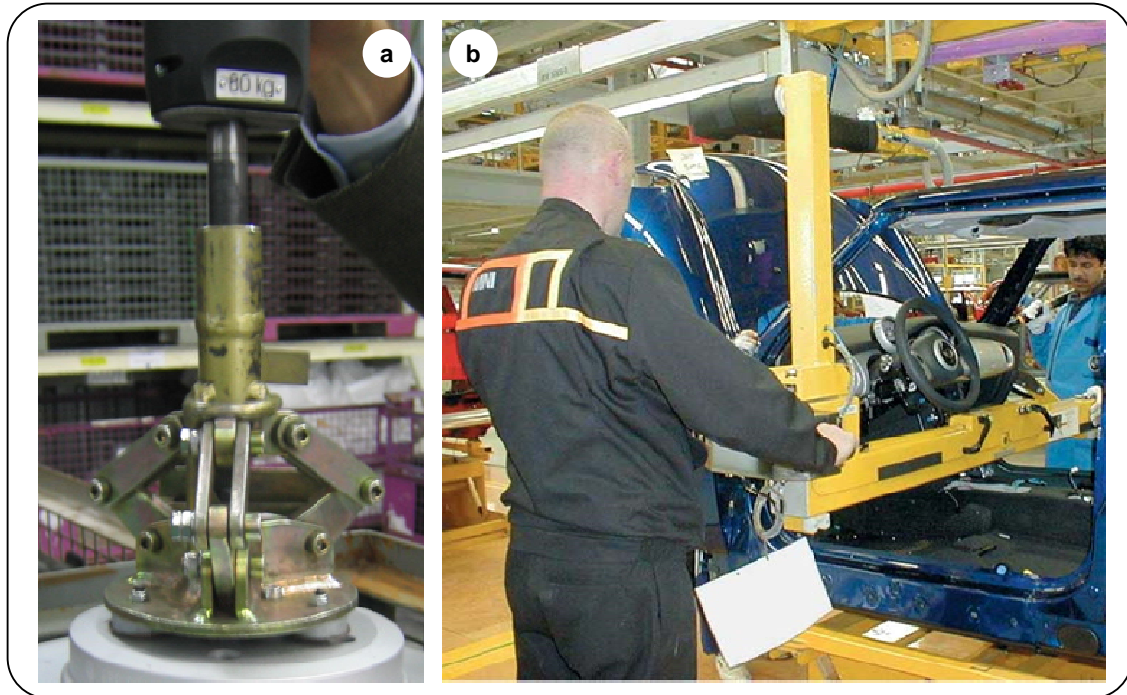


Abbildung 22: Einsatz eines selbsttätigen mechanischen Greifers sowie eines Gelenkarmmanipulators in der kontinuierlich bewegten Fahrzeugmontage (Bildquellen: BMW Group und Schmidt Handling Gesellschaft für Handhabungstechnik mbH)

Beweglichkeitssteigerung

Zwangsbewegungen, z. B. durch streng vordefinierte Bewegungsbahnen oder limitierte Verfahrgeschwindigkeiten, schränken die Bewegungsfreiheit des Bedieners ein und sind unbedingt zu vermeiden. Wenn es für den Aufnahme-, Abgabe- oder Fügevorgang nicht explizit vorteilhaft ist, Freiheitsgrade zu blockieren, sollten stets alle Freiheitsgrade des Manipulators freigegeben werden. Außerdem sollten, auch angesichts der moderaten Mehrkosten, der Bewegungsbereich und die mögliche Bewegungsgeschwindigkeit eher etwas überdimensioniert werden. Der Mitarbeiter fühlt sich freier und die gesteigerte Flexibilität kann für spätere Veränderungen des Arbeitsplatzes genutzt werden, es sei denn, den Beschränkungen liegen Aspekte der Arbeitssicherheit zugrunde, wie beispielsweise das sichere Fernhalten von Fahrwegen u. ä. Die Entscheidung für die Auswahl der Grundkinematik des Aufhängungssystems, z. B. zwischen zylindrischem Kragarm oder kartesischem Portal, sollte sich an der geplanten Werkerbewegung orientieren, da die Bewegung entlang einer Hauptachse in der Regel weniger reibungsbehaftet ist als die multiple Bewegung mehrerer Achsen. Die Masse des gesamten Manipulatoraufbaus sollte minimiert werden: Zum einen werden damit die kompensierten Gewichtskräfte nicht überproportional anteilig in aufzubrin-

gende Beschleunigungskräfte umgewandelt, zum anderen werden zeitraubende Überschwingvorgänge beim Positionieren reduziert. Dies gilt im Besonderen für die Minimierung mitzubewegender Grundachsen, konkurriert aber teilweise mit dem vorherigen Ziel eines größeren Arbeitsraumes. Zwischen Trägerkinematik und benötigtem Arbeitsraum sollte dazu eine möglichst hohe Deckungsgleichheit angestrebt werden. Sofern eine konstante oder definierte Orientierung (mindestens am Aufnahme- und Abgabeort) gefordert ist, sind Stabmanipulatoren zu verwenden. Neben der größeren Achssteifigkeit und damit höheren Positioniergenauigkeit können diese auch außermittige Belastungen aufnehmen und erfordern daher keine aufwändigen Schwenkgreifer zur Aufrechterhaltung des Schwerpunktes und der Trägheitsachsen. Wenn hingegen die Orientierung nicht relevant ist oder eine ausgesprochene Vorzugslage des Bauteils genutzt werden kann, sind aufgrund deutlich niedrigerer Trägheitsmassen sowie einer geringeren Einschränkung der Bewegungsfreiheit Seil- und Kettenmanipulatoren zu bevorzugen.

Umfeldanpassung

Eine Anpassung des Arbeitsplatzes und des Arbeitsablaufs an den Manipulator (innerhalb der grundlegenden Montageorganisationsform) steigert nicht nur die Umsetzbarkeit der genannten Empfehlungen, sondern bietet weitere Potenziale. In erster Linie gilt es die Materialbereitstellung anzupassen. Wenige unterschiedliche und möglichst exakt definierte, gleich bleibende Materialquellen (bzgl. Ort, Bauteilart und Bereitstellungsgebinden) reduzieren Such-, Verfah- und Positionierzeiten mit dem Manipulator. Bei Mehrfachhandling sind sowohl an der Aufnahme- als auch an der Abgabestelle ausreichend viele Bauteile vorzuhalten bzw. vorzupuffern. Bei Manipulatoren mit Universalgreifern (v. a. an Stand- oder Inselarbeitsplätzen) für unterschiedliche zu handhabende Bauteiltypen und -varianten ist zu untersuchen, inwieweit eine Just-in-sequence-Bereitstellung Verwechslungen unterbindet und gleichzeitig Nebenzeiten vermeidet. In den meisten Fällen handelt es sich bei den hier betrachteten Bauteilen um höherwertige Bauteile, die ohnehin magaziniert oder zumindest teilweise lageorientiert bereitgestellt werden. Die Nutzung des Ordnungszustands aus der Bauteilfertigung erreicht eine manipulatorfreundlichere Anlieferung. Zudem sind vor allem bei einfachen Aufnahme- oder Abgabevorgängen (aus Transportbehältnissen oder in diese hinein) Passfügen zu vermeiden oder in den nachfolgenden Fügevorgang zu integrieren. Gegebenenfalls sind leichtgängige kompliante (= nachgiebige, fehlertolerante) Systeme am Manipulator oder auch am Gebinde zu installieren, vor allem bei Mehrgreifern oder beim Greifen aus ungeordneter

Bereitstellung. Sofern die Bauteilabgabe gleichzeitig den Fügevorgang darstellt, sind entsprechende Einführhilfen (im einfachsten Fall Fasen) vorzusehen. Bei erhöhten Genauigkeitsanforderungen kann es zielführend sein, den Manipulator (vorzugsweise eine Stabkinematik) nach der Grobpositionierung zu fixieren und dann in den Greifer integrierte leichtgängige (laterale) Zusatzachsen freizugeben (siehe Möglichkeit 2 in Abbildung 23). Dabei ist darauf zu achten, dass der Monteur die Fügestelle entsprechend einsehen kann und diese nicht durch den Manipulator verdeckt oder eingeschränkt wird. Vorteilhaft ist die Verlagerung der Positioniermarken vom Bauteil und der Fügestelle weg, hin an den Greifer bzw. Manipulator, z. B. über entsprechende Hilfsvorrichtungen oder Visualisierungssysteme (siehe Möglichkeit 1 in Abbildung 23). Mittels in die Manipulatoren integrierter zusätzlicher Fixierungs- und Fügehilfen bzw. -schablonen kann der Fügevorgang insgesamt verbessert werden (siehe Möglichkeiten 3 und 4 in Abbildung 23). Das bietet sich insbesondere für größere vierteilige Baugruppen mit formlabilen Komponenten an, wie sie beispielsweise Kabelbäume darstellen. Mittels derart erweiterter Manipulatoren kann auch für komplexe Montageaufgaben der Ordnungszustand der Baugruppenerstellung über den Transport hinweg für den endgültigen Verbau genutzt werden.

Problematischer äußern sich hohe Anforderungen an die Positioniergenauigkeit im Fall der kontinuierlichen Fließmontage. Auf- und abgehende Mitarbeiter und Montageobjekte sowie vielfältige Bearbeitungs- und Fügekräfte innerhalb eines (starr gekoppelten) Bandabschnitts beeinflussen die Bandlaufgeschwindigkeit erheblich, unabhängig von der technischen Ausführung und Qualität des Fördermittels (ZÄH U. A. 2006C). Dank seiner hervorragenden sensumotorischen Fähigkeiten ist der Mensch, im Gegensatz zu konventionellen vollautomatisierten Systemen, in der Lage auch bei Montagevorgängen auf dem Band, unter anderem beim Positionieren eines Bauteils, zusätzliche Störeinflüsse zu kompensieren. Bei sehr hohen Genauigkeitsanforderungen führt die Mitpositionierung der Manipulormasse dennoch zu einem überproportionalen Positionierzeitanstieg. Die in Abbildung 23 dargestellten Maßnahmen allein können ohne regelungstechnische Unterstützung diese Zusatzzeit und damit die unweigerliche Ablehnung des Hilfssystems nur bedingt vermeiden.

Vordefinierte Ein- und Ausgangspuffer, mit etwas größerer Kapazität als der individuellen Verteilzeit oder für das Mehrfachhandling notwendig, senken den Wunsch bzw. Druck der Werker zum Vorarbeiten und können zur Beseitigung von Kleinststörungen am Greifer oder Manipulator genutzt werden. Den Mehrkosten für den Manipulatoreinsatz sollte durch reduzierte Logistikkosten entge-

gewirkt werden. Bei Mehrfachhandling bieten sich dafür größere Anlieferungsgebilde an. Sofern die zur Verfügung stehende Fläche ausreicht, bedeutet das Entleeren großer Gebinde für Auslegegreifer keinen Mehraufwand und kein Hindernis.

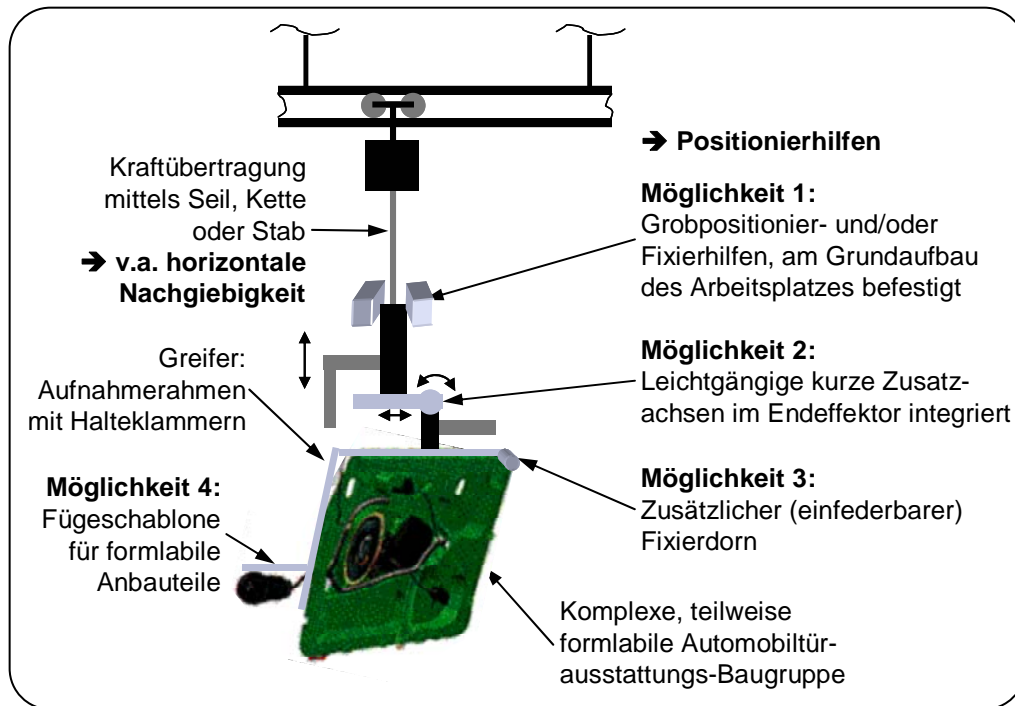


Abbildung 23: Schematische Darstellung technischer Maßnahmen zur Akzeptanzsteigerung von Manipulatoren bei Handhabungsvorgängen von komplexen Bauteilen mit mittleren Massen und hoher Positioniergenauigkeit

Ablaufanpassung

Der gesamte Arbeitsprozess muss möglichst genau definiert sein und sollte keine Abweichungen zulassen, da für undefinierte und variierende individuelle Selbstoptimierungsmaßnahmen der Manipulator in vielen Fällen hinderlich ist oder so empfunden wird. Für den Mitarbeiter müssen nachvollziehbare Standards geschaffen werden, die es kontinuierlich weiterzuentwickeln gilt. Hilfestellung bietet hier die vergleichende Analyse mittels Zeitstudien. Die Vorteile der von den Werkern eigenmächtig vorgenommenen Veränderungen sind nachzuweisen und in Form von neuen, exakten Arbeitsanweisungen für alle transparent zu machen. Die Arbeitsvorgangsbeschreibung und die Zeitvorgaben müssen explizit eine Verwendung des Manipulators aufführen. Darüber hinaus muss die Nutzung durch die Meister oder Teamleiter propagiert und gefördert werden. Die Mög-

lichkeit eines dauerhaften Arbeitens beziehungsweise Mitführens des Manipulators erhöht den Gewöhnungs- und Trainingseffekt. Suchzeiten beim Wiedergreifen des Gerätes werden eliminiert und der gesamte Umgang mit dem Gerät wird verbessert. Oftmals sind neben den für den Manipulator vorgesehenen Anbauteilen noch Fügehilfsmittel, weitere Kleinteile oder leichtere Anbauteile zuzubringen und zu fügen. Werden die bestehenden Abläufe beibehalten, ist dazu ein Loslassen des Manipulators notwendig, eventuell verbunden mit einer Ortsveränderung, die anschließend ein Zurückgehen zum Manipulator erfordert. Hierfür empfiehlt sich entweder eine Verlagerung dieser Inhalte auf benachbarte Arbeitsplätze und -stationen oder eine Integration in die Manipulator Tätigkeit. Die Anbauteile können dazu mit dem Manipulator nacheinander gegriffen und sogar vorgefügt werden. Fügehilfsmittel können automatisiert über integrierte Werkzeuge zugeführt werden. Für die Entsorgung bzw. Entnahme von oftmals sperrigen Zwischenlagen oder ähnlichem Hilfspackmaterial kann mittels zusätzlicher Spannzangen am Endeffektor auf einfache Weise der Manipulator mitgenutzt werden.

Gestaltungsalternativen und Gültigkeit der Empfehlungen

Insgesamt ist bei allen Empfehlungen stets das Verhältnis von Aufwand und Nutzen zu berücksichtigen. Eventuell steigern gerade exotische Bauteilvarianten, die z. B. deutlich weniger als 20 % der Handhabungsvorgänge verursachen, den Konstruktionssaufwand für den Manipulator überproportional. Sofern es sich bei diesen wenigen Positionen um eher leichtere Bauteile ($\ll 8$ kg) handelt, kann weiterhin eine manuelle Handhabung erfolgen. Für stark variierende Zusatzumfänge sollte eine separate Vorkommissionierung durch die Mitarbeiter selbst oder durch die Logistik angestrebt werden. Die Nutzung angepasster oder höhenverstellbarer Bereitstellungswägen hierfür reduziert die Lasthandhabung auf wenig belastende Umsetzvorgänge auf gleicher Höhe (siehe auch Abschnitt 5.2.2). Tritt selbst damit noch ein Integrationshemmnis auf, so sollte entweder eine Verlagerung auf benachbarte Stationen (v. a. bei Parallelsystemen) oder eine Unterstützung durch die Gruppe (im Rahmen von Jobrotation) angestrebt werden, sofern dafür keine Eingriffe in die Auftragsreihenfolge notwendig sind. Gerade für selten zusätzlich zu handhabende Bauteile oder Sondervarianten empfiehlt sich der Rückgriff auf einfachere Handhabungshilfsmittel, wie Aushebevorrichtungen, Rutschen o. ä. Für die Ausgestaltung der manipulatorgestützten Montagesysteme gilt es, soweit wie möglich modular aufgebaute Standardkomponenten und -systeme zu verwenden. Deren Erweiterbarkeit oder Anpassbarkeit an geänderte

Abläufe oder Tätigkeiten kann beispielsweise auch für spätere Rationalisierungsmaßnahmen oder Produktänderungen genutzt werden.

Alle vorgestellten Empfehlungen und Ansätze zur integrierten Manipulator- und Arbeitsplatzgestaltung sind (sofern nicht explizit vermerkt) für sämtliche Arten von Bewegungseinrichtungen in der Serienherstellung mit entsprechendem Fokus auf Zeiteffizienz (vgl. VDI-RICHTLINIE 2860 (1990)) anwendbar. Aufgrund der zunehmenden Schwere und Komplexität von Handhabungsvorgängen in der Montage kommt jedoch, wie gezeigt, handgeführten Manipulatoren und zukünftig kooperierenden Robotern eine besondere Bedeutung zu. In der Praxis können nicht alle aufgeführten Richtlinien vollständig umgesetzt werden. Vielmehr sind sie als Hinweis zur richtigen Schwerpunktsetzung bei der Montagesystemgestaltung sowie bei der Optimierung und Auswahl bestehender oder am Markt verfügbarer Systeme zu betrachten. Bestehende Gestaltungs- und Auswahlkriterien, vorwiegend technischer Art wie hinsichtlich Robustheit, Schaltzeiten u. v. m., gelten weiterhin wie von HESSE U. A. (2001) beschrieben. Für eine grundlegende Darstellung der Konstruktion, Auslegung und Ausgestaltung von Manipulatoren sei ebenfalls auf HESSE U. A. (2001) verwiesen. Weiterbestehenden psychologischen Nachteilen ist durch entsprechende Aufklärung und Schulung, eingebunden in ein umfassendes Disability Management, zu begegnen.

5.2 Haltungsoptimierung und -unterstützung

5.2.1 Ansatzpunkte und Restriktionen

Für die Integration leitungsgewandelter Mitarbeiter sind entsprechend der *Gestaltungsvorgabe II* zusätzliche Maßnahmen zur *Haltungsoptimierung und -unterstützung* aufzuzeigen. Wie in Abschnitt 2.4.4 erläutert, ist der Muskelapparat in erster Linie für dynamische Bewegungen ausgelegt. Im Gegensatz zu ständiger unbelasteter Bewegung, welche lediglich in einer unkritischen Herz-Kreislaufbelastung mündet, kann das dauerhafte Aufrechterhalten einer eng definierten Körperstellung bereits ohne äußere Lasteinwirkung zu Schädigungen und Abnutzungen der beanspruchten Gelenke führen, da die Muskeln sich immerzu kontrahieren und damit die Gewebeversorgung beeinträchtigen. Die Erledigung definierter Montagetätigkeiten vom Zubringen über das Fügen bis hin zum Prüfen erfordert an einem definierten Arbeitsplatz vom Mitarbeiter neben steter Bewegung und entsprechender Kraftausübung oftmals über längere Zeiträume hin-

weg, z. B. während einer ganzen Schicht, eine mehr oder weniger spezifische (vorhersehbare) Grundstellung der Gliedmaßen (= Haltung). Nur so können Bauteile, Werkzeuge oder Stellteile erreicht und/oder Füge- und Prüforte eingesehen werden. Stehend bzw. gehend können größere Wege überbrückt und hohe Kräfte aufgebracht werden. Sitzende Tätigkeiten erlauben aufgrund der Fixierung und Abstützung größerer Muskelpartien ein präziseres Arbeiten und fördern die Aufmerksamkeit und Denkleistung (SCHMIDTKE 1993A).

Generell ist zwischen Belastungen durch die vorherrschende Grundhaltung (Stehen, Gehen, Sitzen) und notwendigen Abweichungen bis hin zu Zwangshaltungen infolge unnatürlicher oder extremer Körper-/Gelenk(end)stellungen zu unterscheiden. Für die detaillierte Analyse von Arbeitshaltungen hat sich, wie in Abschnitt 2.4.5 beschrieben, die OWAS-Methode durchgesetzt (vgl. PEERBOOM 1993). Die Beanspruchung resultiert stets aus den individuellen anatomischen und physiologischen Voraussetzungen des Werkers sowie aus der zeitlichen Dauer und Anforderungshöhe jeder belasteten Gelenkstellung (im Folgenden zusammenfassend als Art der Haltungsbeanspruchung bezeichnet). Hinzu kommen können erschwerte Bedingungen beispielsweise durch das Tragen von Schutzausrüstung, die zusätzliche Betätigung von Pedalen, unzureichend große oder schlecht beschaffene Stand- oder Laufflächen, Störkonturen, Schwingungen usw. Die starken Einschränkungen der menschlichen Grundfähigkeit zum Erbringen von Haltungsarbeit bei leistungsgewandelten Mitarbeitern (siehe Abschnitt 4.1 und 4.3) resultieren oft aus jahrelanger einseitiger Belastung (vgl. ZÄH U. A. 2005A). Da die anatomischen Voraussetzungen außer durch Selektion gar nicht und die physiologischen insbesondere bei älteren und leistungsgewandelten Mitarbeitern nur schwer beeinflussbar sind, z. B. durch gezieltes langfristiges Aufbau- und Rehabilitationstraining, liegt der Fokus der folgenden Betrachtungen auf der Schaffung integrationsförderlicher Ausführungsbedingungen mit einer reduzierten Einwirkungsdauer bzw. -höhe von ungünstigen Körperstellungen.

Obwohl dazu auch Tätigkeiten über Kopf oder im Knien zählen, wird im Rahmen der Arbeit auf die Beschreibung von aufwändigen Unterstützungsmaßnahmen speziell für diese seltenen, unvermeidbaren Arbeitshaltungen abgesehen. Im Einzelfall sollte hierfür auf die bereits in Abschnitt 5.1 gezeigten Unterstützungsansätze mittels Manipulatoren oder auf eine veränderte Produktgestaltung mit verbesserter Zugänglichkeit zum Fügeort zurückgegriffen werden. Ansonsten ist der Einsatz gesunder und leistungsfähiger Mitarbeiter in Verbindung mit konti-

nuierlichem Arbeitsplatzwechsel zur Vermeidung langfristiger Schädigung zu bevorzugen.

Unter der Prämisse der generellen Beibehaltung des Montageobjektes und der wirtschaftlich bedingten Wahl der Montageorganisationsform sowie der damit vorherrschenden Grundhaltung bietet sich zunächst eine Haltungsoptimierung auf Basis bestehender Erkenntnisse der Anthropometrie für die spezifischen Bedürfnisse leistungsgewandelter Mitarbeiter an. Den Hauptansatzpunkt hierfür bildet die Anpassung der Basis- und Verkettungseinrichtungen. Sie bestimmen maßgeblich den Ort der Montage und die Zugangsmöglichkeiten für den Mitarbeiter und legen für die Dauer des Montierens (als Hauptzeitanteil; siehe Tabelle 1 auf Seite 26) die Art und die Höhe der Haltungsbelastung fest (siehe Abbildung 24). Erweiterte Freiheitsgrade lassen sich angesichts der Vielfältigkeit verfügbarer Steh- und Sitzhilfen sowie höhenverstellbarer Fördermittel (siehe Abschnitt 3.4) nur im Systemkontext identifizieren. Über die Basis- und Verkettungseinrichtungen hinaus sind auch die Materialbereitstellung (als zweitgrößter Zeitanteil; siehe Tabelle 1 auf Seite 26) sowie die sonstigen Betriebsmittel zur Haltungsoptimierung auszunützen. Für kontinuierlich bewegte Montageobjekte gilt es, separat weitergehende Untersuchungen anzustellen.

Zudem erfolgt die derzeit gängige anthropometrische Auslegung viel zu oft nur durch eine einseitige Festlegung auf ein Mindestmaß, z. B. des 5. Perzentils männlich. Für das 95. Perzentil männlich oder das 5. Perzentil weiblich erfordert diese Einstellung schon erhebliche Verrenkungen und damit körperliche Überbeanspruchungen (siehe Abbildung 24 unten). Für Einzelarbeitsplätze sollten daher zusätzliche Freiheitsgrade erschlossen und moderne Automatisierungstechniken angewendet werden, um die in Abschnitt 3.4 aufgezeigten Maßnahmen zur altersgerechten Arbeitsgestaltung zur ergänzen. Bei verketteten Systemen oder bewegten Arbeitsplätzen ist über die ebenfalls in Abschnitt 3.4 erläuterten neuen Ansätze (= Adaption an die Mitarbeiter) hinaus die Auswirkung auf gemischte Teams mit unterschiedlichen anthropometrischen und physiologischen Leistungsvoraussetzungen besonders zu beachten. Neue technische Lösungen und zusätzliche Anpassungsmöglichkeiten sind grundsätzlich auf die Akzeptanz durch die Mitarbeiter zu überprüfen, ihr Nutzen für den einzelnen Anwender ist „fühlbar“ zu machen.

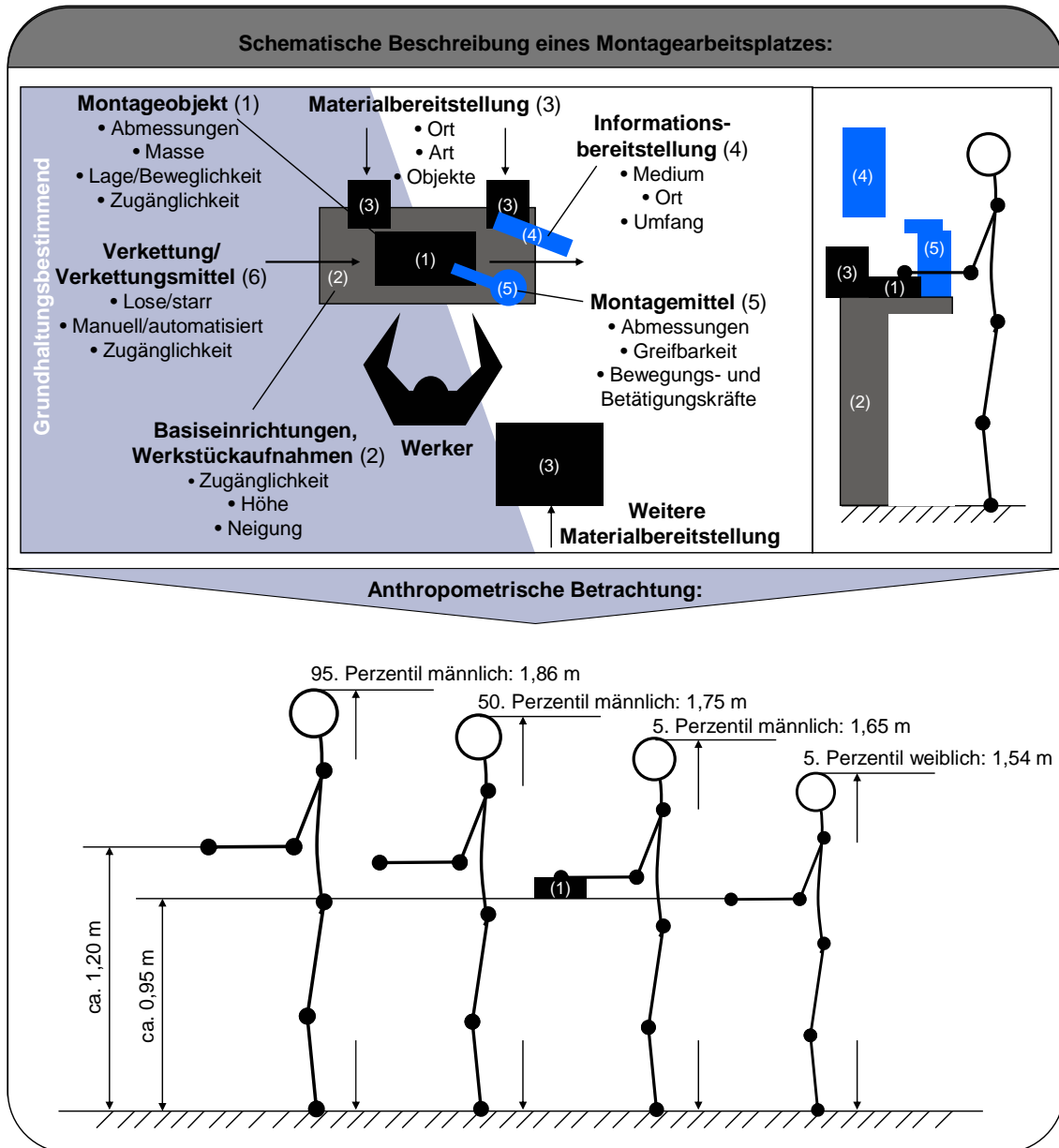


Abbildung 24: Relevanz von Montagesystemelementen für die Haltungsunterstützung und -optimierung (Datenquelle: DIN 33 402-2 (2005))

5.2.2 Ganzheitliche Anpassung von Montagearbeitsplatzeinrichtungen

Für eine weitergehende Höhenanpassbarkeit des Arbeitsgegenstandes ist zu beachten, dass auch kleinere Mitarbeiter beim Ab- und Aufsitzen (z. B. zum Prüfen o. ä.) keine Zeit verlieren dürfen, wie dies bei herkömmlichen Stühlen mit Fußabstützungen gegenwärtig der Fall ist. Lässt sich die individuelle Höhenanpassung nur über Podeste realisieren, so sollten diese so ausgeführt werden, dass sie während der Montagetätigkeit nicht verlassen werden müssen, um die Stolpergefahr und Zeitverluste zu minimieren. Darüber hinaus ist es für die Akzeptanz

wichtig, dass eine schnelle und automatisierte Verstellbarkeit gegeben ist, wenn möglich sogar gesteuert oder sensorgestützt (siehe Abbildung 25 a).

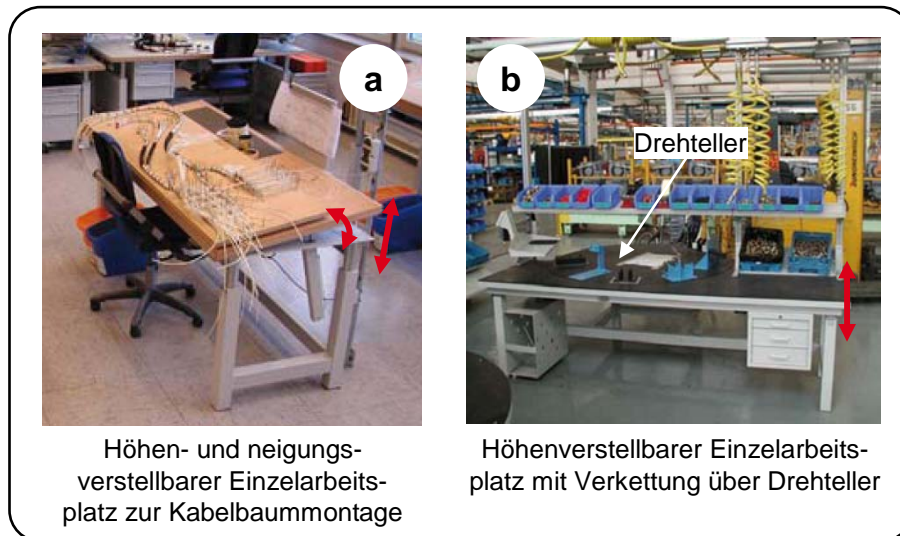


Abbildung 25: *Moderne Basis- und Verkettungseinrichtungen zur erweiterten Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter (Bildquelle: Zelenka Ergonomie)*

Für die Integration Leistungsgewandelter in Reihen- und Taktstraßensystemen (siehe Abbildung 25 b) empfiehlt es sich auch bei relativ guter Zugänglichkeit und geringer lateraler Ausdehnungen des Montageobjektes, zusätzlich eine Neigungsmöglichkeit sowie idealerweise eine erhöhte rotatorische und translatorische Beweglichkeit der Werkstückaufnahme für die Feineinstellung vorzusehen. Damit sind die Fügestellen besser einsehbar und rücken näher an den Monteur bzw. bieten diesem die Möglichkeit zur ständigen Weiterentwicklung seiner Greif- und Handhabungsabläufe. Weniger starre Werkstückfixierungen wirken als komplizierte Systeme. Damit kann eine nachlassende Feinmotorik kompensiert bzw. Zeit gespart werden. Sofern Abstützungen (wie Armauflagen) vorhanden sind, sollten diese ebenfalls soweit wie möglich anpassbar und frei fixierbar gestaltet und nicht behindernd eingesetzt werden. Grundsätzlich sollten Basis- oder Verkettungseinrichtungen die mögliche Standfläche oder bei Sitzarbeitsplätzen den Fußraum nicht einengen oder ganz verbauen. Vor allem älteren Mitarbeitern ist durch die zunehmende Verkürzung der Sehnen und Versteifung der Gelenke ein vollständiges Durchstrecken der Beinmuskulatur nicht mehr möglich. Moderne modulare und rekonfigurierbare Einzelarbeitsplätze, sowohl als kompakte Arbeitstischsysteme als auch aus Profilaufbauten, verfügen standardmäßig über ausreichende Einstellbarkeiten und Zugänglichkeiten. Die weiteren geforderten

Freiheitsgrade können entweder nachträglich in die Werkstückaufnahme integriert oder mittels Adapter zwischen Basiseinrichtungen (wie Gestellen oder Tischen) sowie dem bestehenden Fixierungsmittel realisiert werden. Bei geneigten Arbeitsflächen ohne spezielle Fixierung ist auf eine ausreichende Sicherung zu achten, welche die Beweglichkeit nicht wieder einschränkt. Gummierungen zur Erhöhung der Haftreibung reichen oftmals aus. Bei richtigem Gebrauch entstehen gesunden Mitarbeitern durch diese ergänzenden Maßnahmen keine Nachteile, weshalb sich ein dauerhafter und durchgängiger Gebrauch in den Montagesystemen empfiehlt.

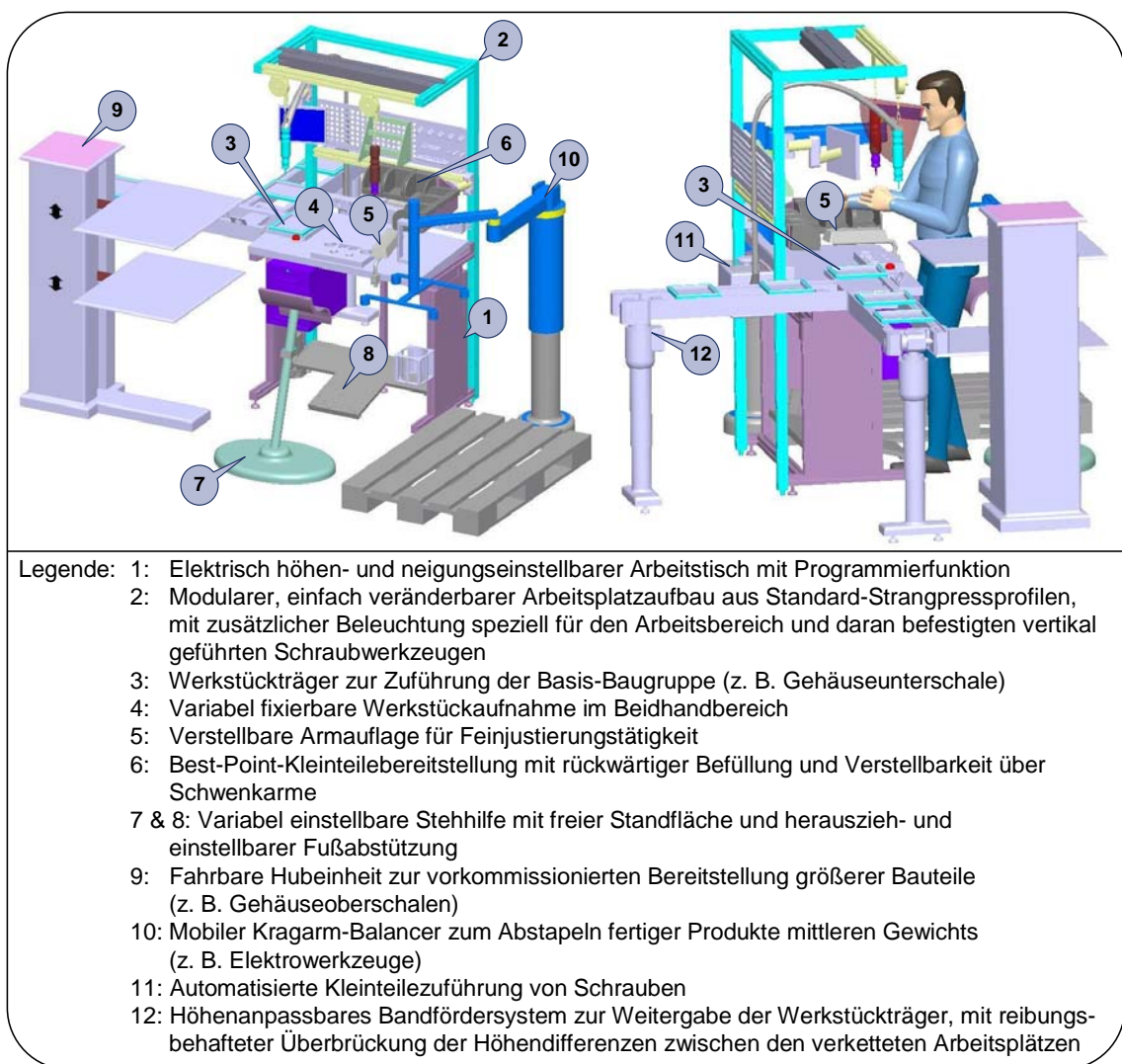


Abbildung 26: Konzeption eines verketteten Modellarbeitsplatzes zur Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter

Abbildung 26 zeigt aufbauend auf dem Stand der Technik (siehe 3.4) die modellhafte Umsetzung der dargestellten weitergehenden technischen Gestaltungsre-

geln zur Integration leistungsgewandelter Arbeitnehmer in einem verketteten Modellarbeitsplatz. Sämtliche Basis-, Verkettungs- und Materialflusseinrichtungen basieren auf marktüblichen Standardsystemen, welche unter der Beachtung der Sicherheitsmerkmale für technische Anlagen gemäß DIN EN ISO 12100 (2004) lediglich modifiziert wurden und daher als technisch erprobt angesehen werden können. Die Ausführung der Konstruktionselemente selbst ist nach BIERMANN & WEIßMANTEL (1995) durchgehend altersgerecht. Die Orientierungs- und die Lageeinstellbarkeit erweisen sich neben kleinen auch bei großen Montageobjekten, die bei Stand- und Inselmontagen bisher vornehmlich auf dem Boden oder dem späteren Ladungsträger fixiert sind, als ergonomisch förderlich. Durch die fortschreitende Verbreitung des Fließprinzips (siehe Abschnitt 2.3; vgl. KAMMÜLLER 2006) empfiehlt sich hierfür die Ausweitung herkömmlicher flexibler Materialflusssysteme, wie höhen- und neigungsverstellbare Schubplattenförderer (siehe Abbildung 10 d, S. 43). Nur sofern dies nicht möglich ist, sollten Spezialeinrichtungen entwickelt werden. Für die Lageveränderung selbst kann oftmals auf vorhandene Hebezeuge und Flurförderzeuge wie Kräne, Stapler und Handhubwagen zurückgegriffen werden, sodass nur angepasste Untergestelle zur Fixierung separat zur Verfügung gestellt werden müssen. Bei entsprechender Gestaltung können an den Gestellen auch mobile Stehhilfen oder Armauflagen angebracht werden.

In der kontinuierlichen Fließmontage stellen Verfahren zur Arbeitshöhen- und bei Bedarf auch der Neigungsanpassung mittels Verkettungsmitteln bereits den Standardfall dar (siehe Abbildung 10 c, S. 43). Aufgrund der gemeinsamen Nutzung dieser bewegten Arbeitsplätze durch ein ganzes Team kann die Höheneinstellung nur einheitlich erfolgen und damit die Erfordernisse der kleinsten bzw. größten Mitarbeiter der Gruppe nur bedingt berücksichtigen. Für eine erweiterte Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter muss in solchen Fällen auf organisatorische Ansätze zurückgegriffen werden. Zu den klassischen Kriterien zur Gruppeneinteilung sollten gezielt ergonomische und integrationsförderliche hinzugefügt werden. Es gilt, homogenere Gruppen hinsichtlich anthropometrischer Merkmale zu bilden. Gegebenenfalls sind zusätzlich die Umlaufbereiche entlang der zu bedienenden Arbeitsplätze an die veränderte Gruppeneinteilung anzupassen. Für die technische Ausgestaltung der Standflächen, Fixierungen usw. gelten die Empfehlungen analog der Reihen- und Taktstraßenmontage (siehe weiter oben und konzeptionelle Ansätze in Abbildung 26). Sofern ein Werkstück immer nur von einem Monteur bearbeitet wird, in der Regel wiederum bei kleineren Montageobjekten, kann die rotatorische und translatorische Feineinstellbarkeit in

die Werkstückaufnahme integriert werden. Da die Einstellzeit allerdings nicht einmalig, z. B. während einer vollen Schichtdauer, sondern mit jedem Takt neu anfällt, muss die Anpassung automatisiert erfolgen, z. B. mittels Sensorik oder Steuerungsvoreinstellung für ein Team zu Schichtbeginn.

Für eine erweiterte Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter gilt es auch bei der Materialbereitstellung den idealen Arbeitsbereich des Werkers in normaler (stehender oder sitzender) Grundhaltung zu nutzen. Dazu sind die Bereitstellungsvorrichtungen und -behältnisse in entsprechend anpassbarer Höhe und Ausrichtung für den jeweiligen Werker anzubringen. Bei kleinen Behältnissen und Gebinden bietet sich eine flexible, variable Fixierung am Grundgestell oder Trägersystem an (siehe Abbildung 28 b). Auf Tischflächen reichen einfache Gummierungen oder, sofern für die Bauteile zulässig, magnetische Fixierungen aus. Ansonsten erlauben konventionelle Profil- oder Stecksysteme bei frühzeitiger Berücksichtigung vielfältigste Anpassungen. Nur Behältnisse für sehr große Bauteile und Verbrauchsmengen erfordern zusätzliche Hilfsmittel wie feste, geneigte Podeste (siehe Abbildung 10 b, S. 43) oder Hub-/Neigewägen (siehe Abbildung 27). Letztere sind dann notwendig, wenn die Zugänglichkeit und/oder die Greifhaltung wesentlich vom Füllstand des Behältnisses abhängen, um die Abweichungen vom optimalen Greifpunkt fortwährend zu minimieren. Um Zeitverluste zu vermeiden, ist auf eine einfache (z.B. elektromechanische) Betätigung der Höhenverstellung zu achten. Weitgehend vollständig eliminieren nur automatisierte Steuerungen oder Regelungen die Nebenzeiten. Mechanisierte Vorrichtungen, wie Überfederungen oder Wippen, reichen vielfach aber auch aus (siehe Abbildung 27).

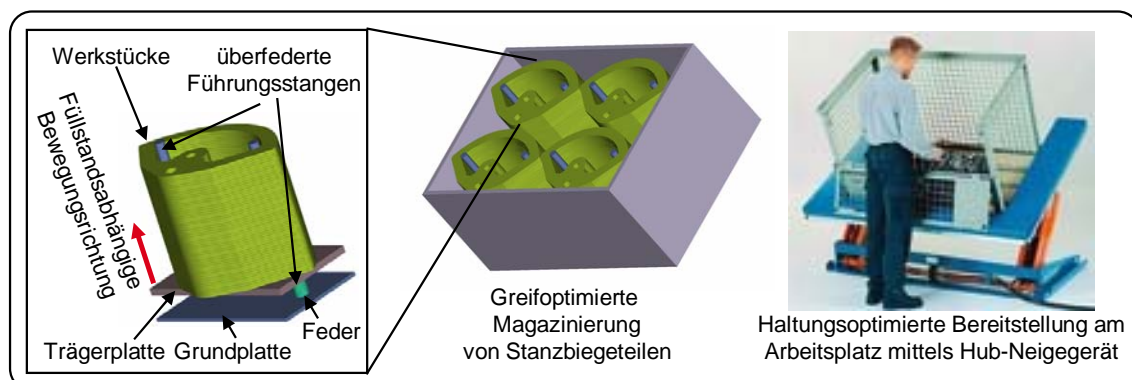


Abbildung 27: Magazinierungskonzept zur ergonomischen und zeitsparenden Handhabung von Feinschneidteilen (Maße: 280 x 175 x 5 mm; Masse: 241 g)

Um Zeitverschwendung durch Orientierungsveränderungen auf dem Weg zum endgültigen Verbrauchsort zu vermeiden, empfiehlt sich eine Weiterführung der Anpassung und Einstellung in die Materialfluss- und Fördermittel zur durchgehenden Beibehaltung des Ordnungszustandes. Die größte Wirksamkeit bezüglich der Verbesserung der generellen Greifbarkeit sowie der Anpassbarkeit und der individuellen Einstellbarkeit der Materialbereitstellung bieten durchgängige Materialversorgungskonzepte (wie in den Konzepten in Abbildung 27 und Abbildung 28). Im Montagebereich gilt es, konsequent die Gebindegrößen zu minimieren und die Bauteile soweit wie möglich lagerichtig und vereinzelt mittels Magazinen oder einfachsten Zuführeinrichtungen (wie Trichtern) zuzuführen. Japanische Produktionssysteme erzielen einen Großteil der Zeitersparnis durch die konsequente Ausrichtung von Fügeort und Bereitstellung am „best point“ (engl. für „bester Ort“) innerhalb der Beidhandzone (= Bereich, der von beiden Händen ohne Bewegung des Körperrumpfes erreicht werden kann). Diese japanische Philosophie der Arbeitsgestaltung orientiert sich durchweg an den natürlichen Bewegungsabläufen des Menschen. Möglich wird dies in erster Linie durch die räumliche und inhaltliche Trennung sowie die getrennte Optimierung von Wertschöpfung und Verschwendung in Form von Logistik. Von Logistikern beziehungsweise Materialversorgern kann die Materialbereitstellung mit speziellen Hilfsmitteln in einem externen Versorgungsbereich nicht nur schneller, sondern auch zweckmäßiger und ergonomischer erfolgen (siehe Abbildung 28 a).

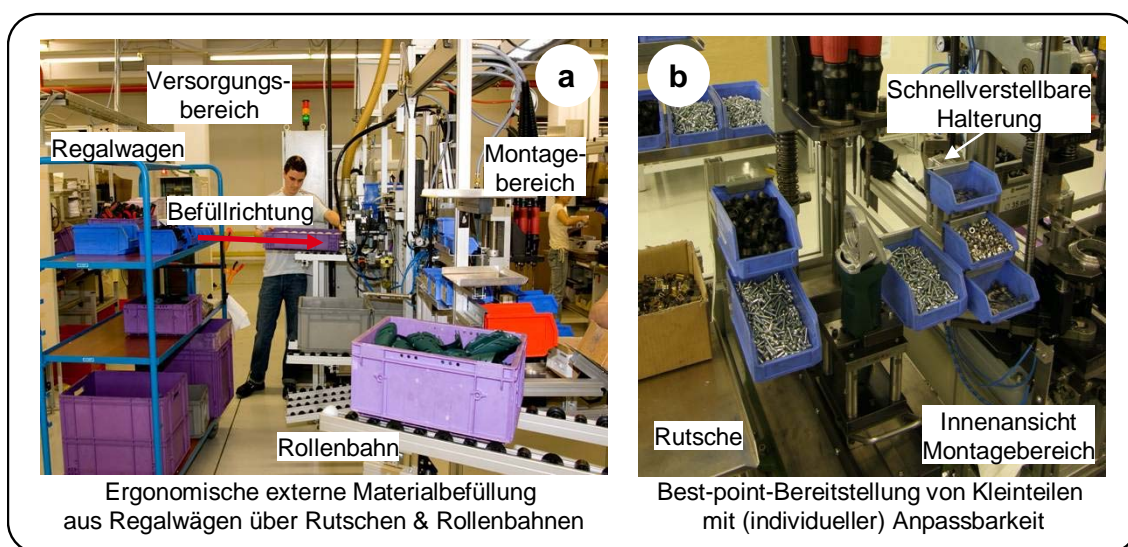


Abbildung 28: Durchgängiges integrationsförderliches Materialversorgungskonzept für die wirtschaftliche Elektrokleingerätemontage auf Basis der konsequenten Trennung von Logistik und Wertschöpfung (Bildquelle: Metabowerke GmbH)

Der Monteur kümmert sich in seinem Bereich damit nur mehr um das wertschöpfende Feinpositionieren, Fügen, Prüfen u. s. w. (siehe Abbildung 28 b). Zur erweiterten fallspezifischen Integration eines leistungsgewandelten Mitarbeiters sind z. B. lediglich die Regalfachhöhen den individuellen Bewegungseinschränkungen anzupassen. Ebenfalls integrationsförderlich wirkt eine generelle Reduzierung der Materialquellen und -senken je Arbeitsplatz. Damit werden maximale Greifwege und oft auch die Summe der Greifwege reduziert sowie häufige und/oder extreme Haltungen vermieden. Zudem steigt dadurch das Potenzial für den Einsatz von Handhabungshilfsmitteln (siehe Abschnitt 5.1). Die Verminderung der Bereitstellpositionen kann entweder durch eine andere, idealerweise gleichmäßigere Verteilung über Montagelinien hinweg oder durch Vorkommissionierung erreicht werden. Bei entsprechender Magazin- und Zuführeinrichtungsgestaltung können neben verschiedenen Bauteilvarianten auch bedarfsgerecht unterschiedliche Bauteile aufgenommen werden.

Die Nutzung der Informationsbereitstellung sowie der Montagemittel (also der Werkzeuge selbst) erfordert nur selten dauerhaft eine eng definierte Haltung, zumal flexible Aufnahmen und Fixierungen hierfür dem Standard entsprechen. Wichtig sind Schulungen zum korrekten Umgang mit den Einrichtungen und im Zweifelsfall auch ein entsprechendes Arbeitsplatz-Redesign. Falls die Integration an sehr spezifischen und rein individuellen Einschränkungen eines leistungsgewandelten Mitarbeiters scheitert, können einsatzflexible, mobile Hilfsmittel benutzt werden. Beispiele hierfür sind mobile Neigegeräte, Manipulatoren mit Universalgreifern, Bereitstellungsrollwägen oder Körperteilabstützungen (siehe Abbildung 26). Gegebenenfalls können in der kontinuierlichen Fließmontage bei gemeinsamer Mehrplatzbedienung temporär (Bequemlichkeits-)Einschränkungen für gesunde Mitarbeiter in Kauf genommen werden.

Zeitliche Nachteile spielen bei der Akzeptanz der in diesem Abschnitt genannten Maßnahmen eher eine untergeordnete Rolle. Bei der Befragung von Experten wird deutlich, dass vielmehr fehlendes Verstehen hemmt, da die Entlastung durch die aufgeführten Maßnahmen während einer definierten Arbeitszeit oft selbst für den Leistungsgewandelten nicht unmittelbar und direkt körperlich spürbar wird, v. a. wenn kein direkter Vergleich zur Verfügung steht. Der Hinweis allein, dass eine bessere Erreichbarkeit und Zugänglichkeit Zeit sparen hilft und dass sich eine bessere Einsehbarkeit positiv auf die Qualität von Füge- und Prüftätigkeiten auswirkt, bringt die Einsicht beim Werker nicht hervor. Er sollte jedoch als Gegenargument für kurzfristig anfallende Einmalkosten herangezogen werden, v. a. bei hochkomplexen und qualitativ sensiblen Montagen. Eine inten-

sive Einbindung aller Beteiligten von der Teamleitung und Meisterebene über Logistiker und Arbeitsplatzausrüster bis hin zu allen Arbeitern stärkt die Akzeptanz von Beginn an. In gemeinsamen Workshops direkt an den neu zu gestaltenden Arbeitssystemen können die Vorteile wie Zeit- und Kraftersparnis persönlich fühlbar gemacht werden. Die Durchführung solcher Maßnahmen sollte gezielt von Ergonomiebeauftragten und Disability Managern vorgenommen werden und in erster Linie Ansätze aufzeigen, welche die Beteiligten dann selbst kontinuierlich weiterentwickeln. Vor allem individualisierte Einstellungen und Anpassungen entfalten nur dann ihre volle Wirkung, wenn sie dauerhaft optimal ausgeführt sind. Bei individuellen Hilfsmitteln, die explizit nur von leistungsgewandelten Mitarbeitern verwendet werden, sind die Teamleitung und das Disability Management zusätzlich gefordert, einer Stigmatisierung vorzubeugen. Das gilt auch für organisatorische Veränderungen z. B. bei neuen Kriterien für die Teamzusammenstellung. Der Einsatz von Sensorik bietet angesichts ihres Preisverfalls und Leistungszugewinns für die Zukunft Potenzial. Eine sensorgestützte automatisierte Höheneinstellung erhöht den Bequemlichkeitsgrad für den Nutzer, wengleich sie die Bewusstseinsbildung nicht ersetzen kann. Weiteres Potenzial entfaltet ein erhöhter Sensorikeinsatz in Kombination mit einer integrierten Qualitätsprüfung oder Nachverfolgbarkeitsdokumentation. Zuletzt ist auch über eine Anpassung des Montageobjekts, das heißt in der Regel über die Produktgestaltung selbst, nachzudenken. Das Ziel sollte ebenso wie in Abschnitt 5.1.3 erwähnt eine integrierte Gestaltung von Produkt und ergonomischen sowie integrationsförderlichen Arbeitssystemen und Betriebsmitteln sein.

5.2.3 Stehhilfen in bewegten Montagesystemen

Der Einsatz von stationären Stehhilfen ist in Abbildung 26 (unter 7.) des vorangegangenen Abschnitts zusammen mit angepassten Basis- und Verkettungseinrichtungen dargestellt. Eine sehr kleine Sitzfläche lässt sich flexibel anbringen und kann bereits wesentliche Teile des Körpergewichts abstützen. Damit entstehen auch beim Zubringen entfernterer Teile oder beim nur stehend möglichen Aufbringen größerer Kräfte keine zusätzlichen Ab- und Aufsitzzeiten. Entsprechende Lösungen gilt es nun für die zunehmend verbreitete kontinuierliche Fließmontage zu entwickeln. Herkömmliche manuell mitzubewegende Stühle (siehe Abbildung 10 c, S. 43) führen dort ebenso wie konventionell gestaltete Manipulatoren (siehe Abschnitt 5.1.2) durch notwendige Such-, Greif-, Positionier-, Rückführ- und ggf. Einstellzeiten zu erheblichen Zeitverlusten. Eine automatisierte Mitführung der Stehhilfe analog den Gestaltungsregeln für den erwei-

terten Einsatz von Handhabungshilfsmitteln, v. a. für automatisiert rückgeführte Manipulatoren (siehe Abschnitt 5.1.3), kann diese Zeitverluste erheblich mindern.

Ein Mitfahrssystem, also eine bewegte Stehhilfe, kann die Abstützung des menschlichen Körpergewichtes während komplexer Montagevorgänge übernehmen und zugleich die Zugänglichkeit verbessern, z. B. zu stehend nicht zugänglichen Fügeorten im Fahrzeuginneren bei der Automobilendmontage o. ä. Eine hochwertige Bandsynchronisation, wie bei der automatisierten Montage in Bewegung (siehe Abschnitt 5.1.3), ist nicht notwendig, da die menschliche Sensorik den benötigten Ausgleich ohnehin vornimmt. Es müssen lediglich Beschädigungen des Montageobjekts z. B. durch Kollisionen ausgeschlossen werden. Aufgrund der hauptsächlich eindimensionalen Ausrichtung empfehlen sich einfache kartesische Achssysteme, entweder mechanisch gekoppelt oder separat gesteuert. Eine zweite Achse senkrecht zur Bandlaufrichtung ist nur dann notwendig, wenn eine Kollision mit dem Montageobjekt zu befürchten ist, diese zur Materialzubringung genutzt werden kann oder damit die Zugänglichkeit erheblich verbessert wird. Zu beachten ist, dass die Mitfahrhilfe andere Arbeitsvorgänge und andere Mitarbeiter durch die notwendigen Aufbauten oder durch die neue vorgegebene Körperhaltung nicht behindern darf. Dies ist im Besonderen für die Zulassung bzw. Zertifizierung solcher Systeme notwendig.

Abbildung 29 zeigt eine Ergonomiestudie für die PKW-Endmontage. Die Studie belegt deutlich die reduzierte Belastung des Werkers infolge der durch die Sitzhilfe erreichbaren natürlichen Körperhaltung. Aufgrund der Vielzahl zu beachtender Faktoren für die erfolgreiche betriebliche Implementierung von Mitfahrhilfen kommt der integrierten Planung große Bedeutung zu. Allerdings sei darauf hingewiesen, dass die für den vorliegenden Fall erreichbaren Zeiteinsparungen (durch verkürzte Greifwege und Haltezeiten) keine wirtschaftliche Amortisation zu erzielen erlauben. Dementsprechend sollten in anderen Anwendungsfällen z. B. durch mitfahrendes Material, Werkzeuge oder ggf. durch angeschlossene Handhabungshilfsmittel die Ziele von Ergonomie bzw. Integration und Effizienz bestmöglich ausgeschöpft werden.

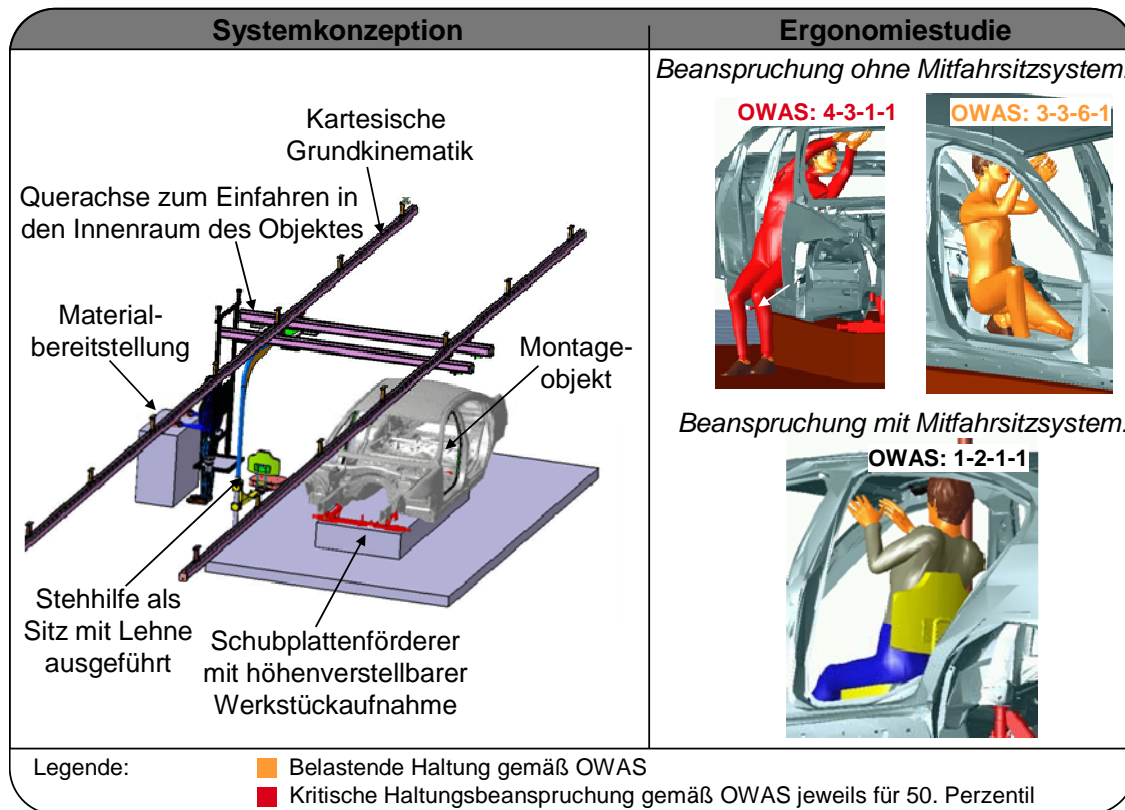


Abbildung 29: Studie zur Konzeption und Bewertung eines Werkermitfahrersystems zur kontinuierlich bewegten Innenbeleuchtungs- und Seitenairbagmontage

5.3 Flexibilisierung der Leistungserbringung

5.3.1 Ansatzpunkte und Restriktionen

Übergreifend gilt es zur weitergehenden Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter die Leistungserbringung generell zu flexibilisieren bzw. zu individualisieren. Damit kann ein Großteil der eher unspezifisch behindernden Einschränkungen (siehe *Gestaltungsvorgabe III*) kompensiert werden. Eine *Flexible Leistungserbringung* lässt kleine Pausen oder zeitweilig ein langsames Arbeitstempo zu und vermeidet dadurch ein dauerhaftes Ansteigen der Kreislaufbelastung sowie eine fehlende Nährstoffversorgung schlecht durchbluteten Gewebes. Zum anderen reduziert sie die mentale und psychologische Beanspruchung. Informationen können flexibler verarbeitet werden und natürliche menschliche Leistungsschwankungen führen nicht unmittelbar zu Stresssituationen.

Grundsätzlich wirkt eine Taktbindung, sofern sie nach geltenden Richtlinien der Zeitwirtschaft (nach REFA; siehe Abschnitte 2.4.3 und 2.4.6) konzipiert und damit nicht zu eng ist, nicht primär integrationshemmend. Vielmehr ist zu unterscheiden, welche Gesamtarbeitsleistung (über eine Schicht hinweg) von einem leistungsgewandelten Mitarbeiter erbracht werden kann, beziehungsweise inwieweit diese konstant erbracht werden kann. Einsatzhemmnisse an verketteten Arbeitsplätzen werden unter Umständen fälschlicherweise der Taktbindung zugeschrieben, resultieren aber tatsächlich aus einer Überforderung bei der Informationsaufnahme bzw. -beschaffung oder aus filigranen Fügearbeiten, die mit abnehmender Körperspannung und Sinneswahrnehmung älterer Arbeiter nur mehr mit erhöhtem Zeitaufwand ausgeführt werden können. Zeit- bzw. Stückzahlvorgaben existieren schließlich auch an Einzelarbeitsplätzen.

In vielfachen Studien, vor allem im Zuge der Einführung von Gruppenarbeit (siehe Abschnitte 3.3 und 3.4), wurde an weitestgehend entkoppelten Arbeitsplätzen eine deutliche Motivationssteigerung infolge erhöhter gefühlter persönlicher Freiheit nachgewiesen. Diese Maßnahmen nutzen auch dem gesunden Menschen zur Anpassung an seinen spezifischen und meist individuell leicht unterschiedlichen Biorhythmus. Die bisherigen ergonomischen und arbeitspsychologischen Maßnahmen lassen sich drei maßgeblichen Ansätzen zuordnen (siehe Abschnitte 2.4.6 und 3.4; vgl. REIF & BUCK 2003, WILLNECKER 2000, GUSSONE U. A. 1999, Bubb & SCHMIDTKE 1993):

- Die Entkopplung von Arbeitsplätzen untereinander bzw. der Tätigkeiten am Arbeitsplatz selbst ermöglicht eine flexiblere individuelle Zeiteinteilung und Leistungserbringung.
- Eine flexible übergeordnete Arbeitsstrukturierung mit zumindest teilweise redundanten oder überdimensionierten Systemen steigert den Gestaltungsspielraum für eine individualisierte bzw. gruppenorientierte Systemaustattung.
- Die konsequente Beachtung der Systemergonomie und Arbeitspsychologie wirkt durch gezielte Informationsbereitstellung und Schulung stressmindernd.

Zur Identifikation neuer struktureller Maßnahmen zur erweiterten Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter sind die in den vorangegangenen Abschnitten ermittelten technischen Maßnahmen mitzubedenken sowie die in Abschnitt 2.3 dargestellten neuen Trends und Strategien zur wirtschaftlichen Produktion und Montagesystemgestaltung im allgemeinen in die Betrachtungen miteinzube-

ziehen. Die strikte Beschränkung auf die exakte Beibehaltung der bestehenden Montageorganisationsform und Systemstruktur wird im Folgenden, um die Gänge des Lösungsspektrums aufzuzeigen, etwas abgemildert.

5.3.2 Strukturelle Flexibilisierungs- und Individualisierungsmaßnahmen

Sofern mehrere Arbeitsplätze prinzipiell oder in Summe aufgrund ihrer Belastungsgrößen und -höhen für einen speziellen leistungsgewandelten Mitarbeiter oder vielmehr eine Gruppe solcher geeignet sind, bieten strukturelle Veränderungen (siehe Abbildung 30) ein hohes Integrationspotenzial, vor allem durch die größere zeitliche Flexibilisierung. So senkt bei stark differierenden Beanspruchungen allein die inhaltliche Zusammenfassung und anschließende parallele Duplikation von idealerweise zwei benachbarten Arbeitsplätzen die mittlere Belastungshöhe auf ein integrationsförderliches Maß und steigert durch die zeitliche Ausweitung des Arbeitsumfangs der einzelnen Station die Möglichkeit zur Inanspruchnahme der Verteilzeit. Vor allem an Linienenden lässt sich diese Strukturänderung auch nachträglich einfach realisieren (siehe Abbildung 30). Durch die Möglichkeit der Weiterverwendung der Basis- und Verkettungseinrichtungen beschränkt sich der Einmalaufwand auf die zweifache Anschaffung einzelner Montagemittel und Materialbereitstellungseinrichtungen. Bei kleineren, getaktet weitertransportierten Montageobjekten erhöht die Verwendung von Zweifach- oder Mehrfachwerkstückträgern (= one-set-flow statt one-piece-flow) die persönliche Verteilzeit in ähnlicher Weise. Für gesunde Mitarbeiter sind hierdurch keine Nachteile zu erwarten, weshalb diese Maßnahmen jederzeit auch von anderen Mitarbeitern oder Schichten genutzt werden können. Bei passender Objektgröße und angepasster Austaktung lassen sich dadurch vielmehr zusätzlich Wirtschaftlichkeitspotenziale heben (vgl. LOTTER 2004).

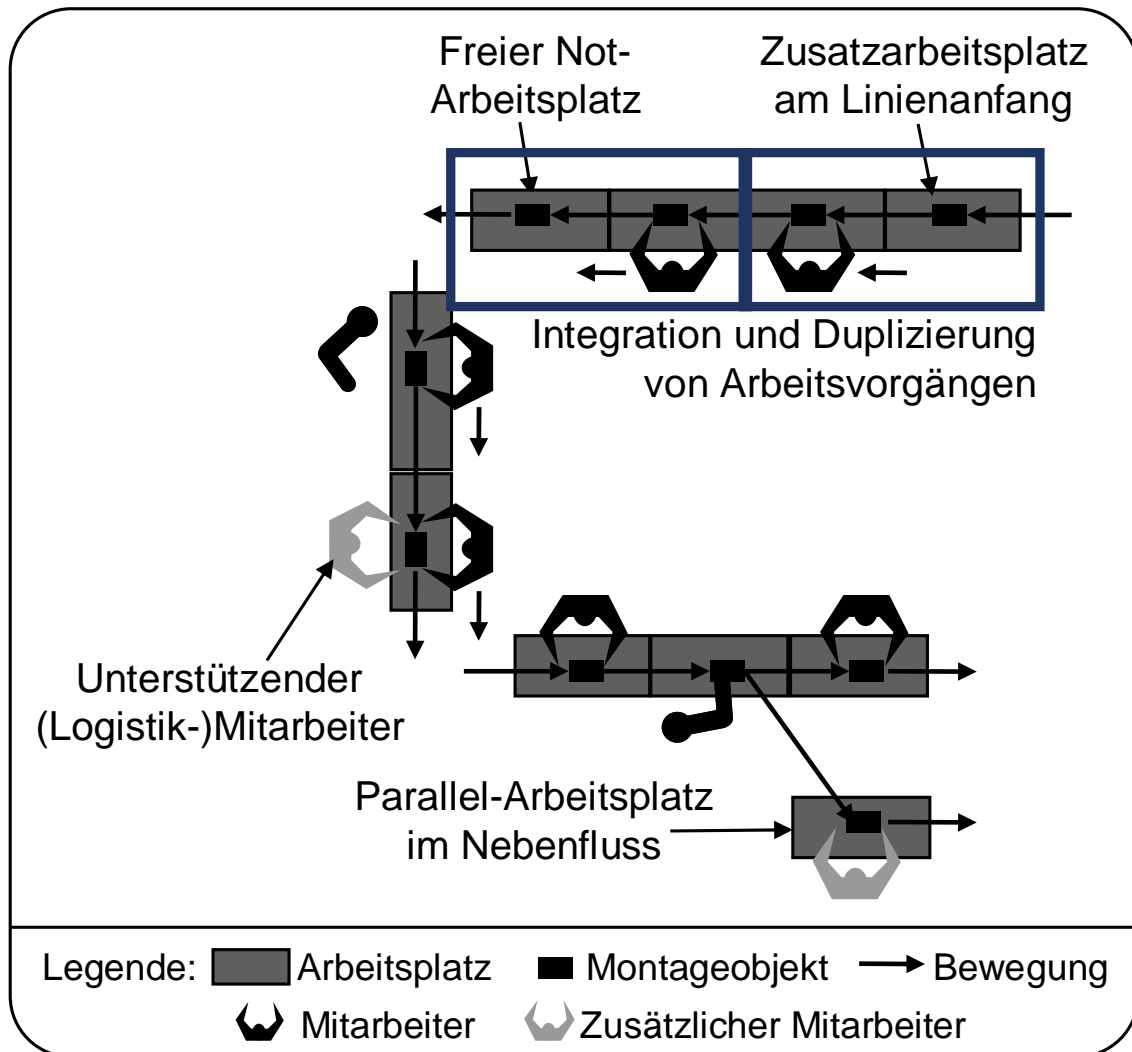


Abbildung 30: Integrationspotenziale verschiedener Strukturveränderungen in Fließmontagesystemen

Alternativ beziehungsweise ergänzend bietet eine gezielt integrationsförderliche Systemaustaktung, über die grundsätzlich anzustrebende gleichmäßige Verteilung von anspruchsvollen und belastenden Inhalten hinaus, zusätzliche Spielräume durch gezielte Neubündelung, um Einsatzhemmnisse zu beseitigen. Weiter geht die Parallelschaltung zusätzlicher Arbeitsplätze (siehe Abbildung 30) oder die gänzliche Auslagerung einzelner (integrationshemmender) Arbeitsinhalte, d. h. Montagetätigkeiten, auf andere Systeme oder Systemabschnitte im Rahmen der Austaktungsflexibilität. Eine räumliche oder zeitliche Ausweitung des Betrachtungsgegenstandes bzw. der Systemgrenze steigert die Anwendbarkeit von Strukturmaßnahmen. Sofern Pufferkapazitäten, vor allem bei vollständig entkoppelten Arbeitsplätzen, nicht ausschließlich für eine Schicht dimensioniert werden, kann im Schicht-Mix z. B. der Frühschicht-Mitarbeiter für den Spätschicht vorarbeiten, ohne dass generell eine Person mehr beschäftigt wird.

Den finanziellen Einmalaufwand bestimmen maßgeblich die Materialflussanbindung (für Werkstück und Anbauteile) sowie die Anzahl der notwendigen Mehrfachbetriebsmittel in Abhängigkeit von zu parallelisierenden Arbeitsinhalten. Bei den Lohnkosten ist der wertschöpfenden Beschäftigung ausschließlich voll leistungsfähiger Mitarbeiter der Einsatz einer um (mindestens) eine Person erweiterten Gruppe inkl. (mindestens eines) leistungsgewandelten Mitarbeiters gegenüberzustellen, welcher ansonsten unproduktiv fortbeschäftigt oder abgefunden werden müsste. Damit lassen sich der ergonomische Vorteil für alle Nutzer sowie die Integration Leistungsgewandelter nur im gesamten Unternehmenskontext oder durch die Beanspruchung von Mitteln des Integrationsamtes wirtschaftlich darstellen (siehe auch Evaluierung im Anwendungsbeispiel in Abschnitt 7.6). Ein kostensparender, sehr einfach gehaltener Parallelarbeitsplatz mit reduziertem Automatisierungs- und Standardisierungsgrad führt tendenziell zu höheren Qualitätssicherungsaufwendungen. Sofern er nicht mobil und flexibel zur Unterstützung oder Integration verschiedener Leistungswandlungen einsetzbar ist, sollte davon abgesehen werden. Über die in allen Fällen notwendige strukturelle Veränderungsfähigkeit verfügen die meisten modernen stückzahl- und variantenflexiblen Serienmontagesysteme bereits, wie schon mehrfach gezeigt. Mit modernen Fabrikplanungs-Softwaresystemen können beliebige Verteilzeitanteile simuliert und auf ihre Integrationsförderlichkeit hin untersucht werden. Arbeitsorganisatorisch ist die Gruppenarbeit mit der Möglichkeit zur Variantenmix-abhängigen Taktzeitanpassung zwingend erforderlich. Nur auf Gruppenebene und schichtübergreifend ist der Betreuungs- und Austaktungsaufwand beherrschbar, da sich so die individuell variierende zeitliche Leistungserbringung nivelliert. Die Motivation einer Gruppe zur Integration schwächerer leistungsgewandelter Mitarbeiter hängt dabei neben der Bewusstseins-schaffung maßgeblich von der fairen Entlohnung ab. Das heißt, die Gruppenentlohnung muss um eine Komponente für die Integration, vorzugsweise proportional zu den attestierten Leistungsminderungen, erweitert werden.

5.3.3 Weitergehende strukturell-strategische Maßnahmen

Eine Weiterführung des Auslagerungs- bzw. Parallelisierungsansatzes zur Entlastung leistungsgewandelter Mitarbeiter kann zukünftig auch die reversible bzw. temporäre Übertragung von Arbeitsinhalten auf Dienstleister und Zulieferer bieten, wenn sie als Bestandteil in Kooperationsvereinbarungen zur Optimierung des beiderseitigen Nutzens aufgenommen wird. Die Werks- bzw. Versorgungslogistik sollte grundsätzlich in die Betrachtungen zur Tätigkeitsübernahme mit-

einbezogen werden (siehe z. B. haltungsförderlicher Nutzen der externen Materialzuführung in Abbildung 28, S. 104). Um die ohnehin hohe Belastung in der Materialbereitstellung nicht weiter zu erhöhen, könnten diese Mitarbeiter temporär auch wertschöpfende Tätigkeiten an freien Bandabschnitten oder Arbeitsplatzbereichen übernehmen. Durch den Zeitgewinn in der Linie wird die Nutzung entsprechender ergonomischer bzw. integrativer Hilfsmittel gefördert.

Geringen organisatorischen Aufwand benötigt eine Wiederbelebung des aus der starren Austattung geborenen Springereinsatzes. Speziell dann, wenn flexibel einsatz- und leistungsfähige Mitarbeiter durch eine Art Assistenz die Beschäftigung mehrerer in einem engen Systembereich arbeitender Leistungsgewandelter erlauben. Den geringen Investitionen zur Schaffung entsprechender Zugänglichkeiten sowie möglicherweise Zusatz(hand)werkzeugen stehen (wegen der umfassenden Qualifikation hohe) variable Lohnkosten gegenüber, die sich wiederum nur im gesamten Unternehmenskontext begründen lassen. Weiteres Potenzial könnte zukünftig die selektive Hinzunahme unterstützender Automatisierungskomponenten wie CoBots o. ä. aus dem Ansatz der kognitiven Fabrik (siehe Abschnitt 3.5.5) schaffen, und zwar in Verbindung mit IT-gestützten Logistiksystemen zur Beherrschung der erhöhten Komplexität der Ablaufsteuerung bei sich verändernden Systemstrukturen.

Generell unterstützt eine strategisch begründete aufgelockerte, d. h. nicht primär flächenoptimierte Arbeits- und Systemgestaltung alle genannten Maßnahmen, inkl. der technisch-strukturellen. Aus wirtschaftlicher Sicht bedeutet dies streng genommen eine Überdimensionierung der Montagesysteme zu Gunsten der Beschäftigung leistungsgewandelter Mitarbeiter. Zudem erfordern einige Maßnahmen die Aufweichung von Standards bzgl. one-piece-flow, Arbeitsfolgen, Betriebsmitteleinsatz usw.

6 Betriebliches Umsetzungsvorgehen

6.1 Organisatorische und systemtechnische Vorbedingungen

Die Gestaltung wirtschaftlicher und zugleich ergonomischer sowie alter(n)sgerechter Montagesysteme bedeutet eine komplexe iterative Optimierungsaufgabe. Die in Kapitel 5 aufgezeigten, teilweise konkurrierenden, technisch-strukturellen Maßnahmen und Ansatzpunkte speziell zur Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter steigern die Anforderungen zusätzlich, zumal sie eine ganzheitliche Betrachtung von Arbeits- und Systemgestaltung erfordern. Eine Vorgehensweise zur innerbetrieblichen Umsetzung der weitergehenden Integration mittels einer zielgerichteten und ggf. fallspezifischen Anpassung der Arbeitsumgebung (siehe Abbildung 31) sollte daher am Ende des klassischen Planungsvorgehens aufsetzen.



Abbildung 31: Einordnung der in Kapitel 5 entwickelten weitergehenden technisch-strukturellen Integrationsmaßnahmen in bestehende Ansätze im Umgang mit leistungsgewandelten Mitarbeitern

Erst während der Feinplanung und Detailausarbeitung von Vorgängen, Layout, Betriebsmitteln und Bauteilen (siehe Abbildung 5) kann die Wirksamkeit einzelner Maßnahmen in Abhängigkeit von den individuellen Einschränkungen mittels Bewertungs- oder Simulationsverfahren sicher beurteilt werden. Außerdem eignet sich ein solches Integrationsvorgehen unabhängig von Neuplanungen auch im

Zuge des kontinuierlichen Verbesserungsprozesses während des operativen Betriebs von Montagesystemen. Gerade hier kann aufgrund der drängenden Problematik der größte Nutzen für produzierende Unternehmen erzielt werden, ohne dass durch eine flächendeckende Reduzierung des Anforderungsniveaus manueller Arbeit falsche Ziele gesetzt werden.

Angesichts der Zeit- und Ressourcenersparnis bei der Planung sollte der Anwendung weitergehender (= technisch-struktureller) Maßnahmen auch künftig das etablierte Integrationsvorgehen mittels Alternativarbeitsplatzsuche vorgeschaltet werden. Ideale Anknüpfungspunkte bieten eine verpflichtende Anforderungs- und Belastungsanalyse (= Profilvergleichsverfahren) für sämtliche Arbeitsplätze und eine umfassende ergonomische und alter(n)sgerechte Arbeitsgestaltung. Um die fachliche Basis sowie die unternehmensweite Nutzung und Akzeptanz zu gewährleisten, sollten die neuen Integrationsmaßnahmen organisatorisch und personell von Disability Managern eingeleitet und betreut werden. Damit wird zudem vermieden, dass einseitig und reaktiv technische Lösungen gesucht werden, anstatt den leistungsgewandelten Mitarbeiter ganzheitlich im Sinne der Rehabilitation und Weiterentwicklung zu betreuen.

6.2 Konzeption und Auswahl der Hilfsmittel

Die Konzeption des betrieblichen Umsetzungsvorgehens und insbesondere die Phaseneinteilung (siehe Abbildung 32) orientieren sich an der in Abschnitt 2.2 beschriebenen allgemeinen Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. Entsprechend dem zugrunde gelegten Top-Down-Ansatz wird ausgehend vom Groben, der Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter zum Beispiel in einem Unternehmensbereich, auf Basis der Zieldefinition ein breites Lösungsspektrum innerhalb der bestehenden wirtschaftlichen System- und Organisationsstruktur im Feinen eröffnet und dieses zur Umsetzung eingrenzt. Die Abarbeitung der Phasen und Teilschritte zur Erarbeitung, Auswahl und Detaillierung von technisch-strukturellen Integrationsmaßnahmen soll sequentiell entsprechend der Priorisierung der Gestaltungsvorgaben I bis III in Abschnitt 4.3 erfolgen. Damit ergänzen die detaillierten Empfehlungen und Ansätze aus Kapitel 5 den generellen Top-Down-Ansatz gezielt um einen Bottom-Up-Ansatz, indem zunächst möglichst konkret einzelne Bewegungsabläufe durch Handhabungshilfsmittel unterstützt werden und anschließend das Umfeld, ausgehend von den Montagesystemelementen, angepasst wird. Sofern an entsprechen-

der Stelle im ersten Durchgang keine verwertbaren Lösungen gefunden werden, sollten zunächst die noch offenen Unterabschnitte bearbeitet werden. Erst am Ende, wenn immer noch keine ausreichenden Lösungen vorliegen, sollte iterativ der Betrachtungsgegenstand und gegebenenfalls die Zielsetzung hinterfragt und ein neuer Durchlauf gestartet werden. Abbildung 32 zeigt die grobe Verkettung der Schritte zur zielgerichteten Initiierung und Auswahl von weitergehenden Integrationsmaßnahmen in drei Phasen. Die detaillierte Beschreibung folgt in den anschließenden Abschnitten.

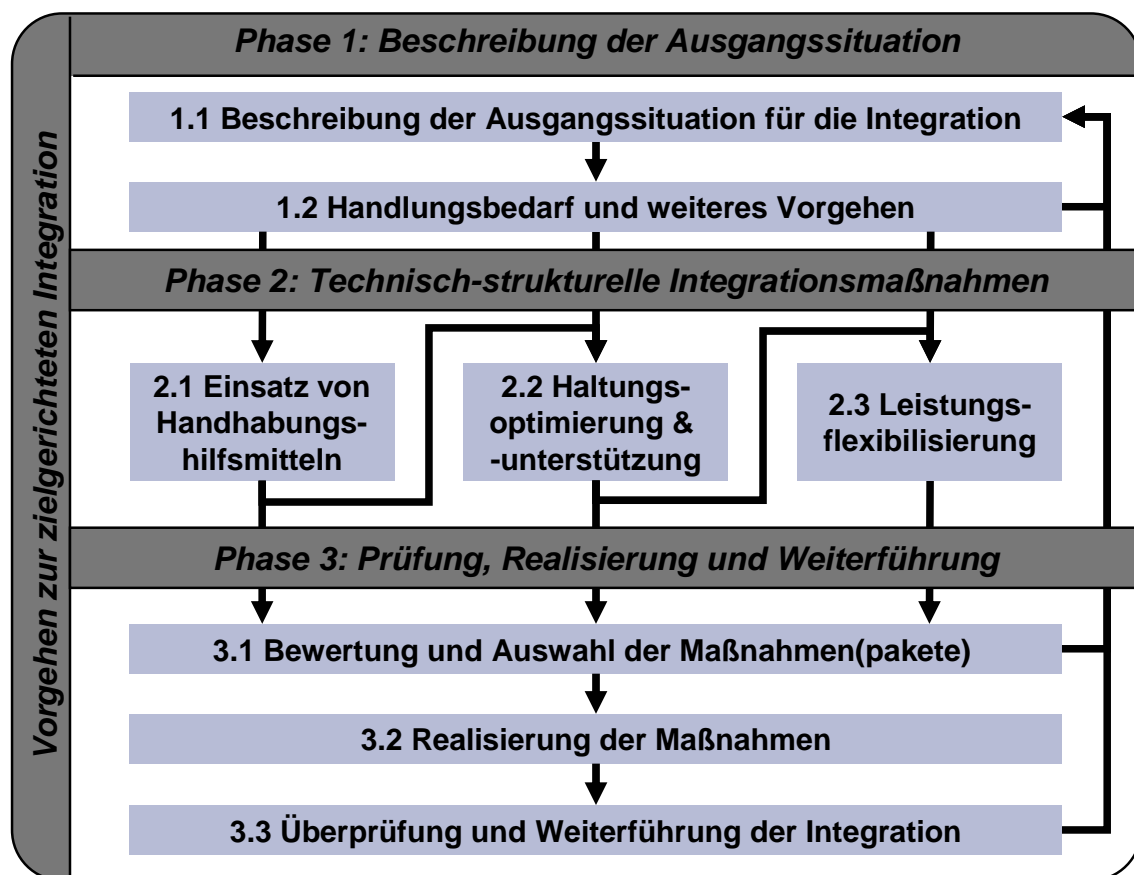


Abbildung 32: Übersicht über das betriebliche Umsetzungsvorgehen zur zielgerichteten Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter

Jede Phase soll durch eine gleichlautend nummerierte Teil-Checkliste kommentiert, dokumentiert und kreativitätsfördernd unterstützt werden (siehe Anhang, Abschnitt 10.5). Das Ziel ist keine streng mathematische Auswertung der Checklisten über eineindeutige Kausalitäten (Wenn-dann-Beziehungen). Vielmehr handelt es sich um ein Moderationshilfsmittel. Es gilt angesichts der Vielzahl möglicher Maßnahmen und konkurrierender Gestaltungsempfehlungen aus Kapitel 5 die Vollständigkeit sicherzustellen und gleichzeitig den Aufwand für die Erarbeitung breitgefächerter Potenziale, über die reine Montagesystemgestaltung hinaus,

einzugrenzen (vgl. auch „Zweck und Anwendung“ von Checklisten bei EHRENSPIEL (2007, S. 427 f.)). Damit baut das vorgeschlagene Umsetzungsvorgehen zur „Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter“ auf den ebenfalls checklistenbasierten Vorgehensweisen zur „alter(n)sgerechten physiologischen Arbeitsgestaltung“ (siehe Abschnitt 3.4) sowie zur Arbeitsplatzbewertung u. ä. (siehe Abschnitt 3.5) auf und entwickelt diese konsequent weiter. Ein hoher Detaillierungsgrad und ausführliche Hinweise in den Integrations-Checklisten sollen es auch Nicht-Spezialisten ermöglichen, integrationsförderliche Arbeitsplätze zu gestalten.

6.3 Schrittweises Vorgehen zur Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter

6.3.1 Zielgerichtete Initiierung und Dokumentation weitergehender Integrationsmaßnahmen

Gezielte weitergehende Integrationsmaßnahmen sollten dann initiiert werden, wenn im Zuge arbeitsmedizinischer Untersuchungen einzelner Personen irreversible Einsatzeinschränkungen attestiert werden, welche eine dauerhafte Weiterbeschäftigung an den aktuellen Arbeitsplätzen verhindern und wenn mit vertretbarem Aufwand keine adäquaten Alternativarbeitsplätze zu finden sind. Ist zwar mittelfristig eine Rehabilitation der diagnostizierten Einsatzbeeinträchtigung zu erwarten, treten im gesamten System oder Bereich aber kritische Belastungen auf, sollten dennoch technisch-strukturelle Maßnahmen eingeleitet werden, um einem Rückfall beziehungsweise der Schädigungen anderer Mitarbeiter vorzubeugen. Im Zuge von Neuplanungen sollten technisch-strukturelle Integrationslösungen dann geprüft werden, wenn bei der erstmaligen Arbeitsplatzbewertung kritische Belastungen identifiziert werden und wenn im Abschnitt, in dem das neue System beziehungsweise der neue Arbeitsplatz angesiedelt ist, bereits in der laufenden Produktion nicht alle älteren beziehungsweise leistungsgewandelten Mitarbeiter durchgehend wertschöpfend beschäftigt werden können. Das gilt auch für den Fall, dass erst im Zuge von Nachbewertungen oder einer regelmäßigen Überprüfung der Belastungsanalyse vermehrt kritische Belastungen auftreten, bedingt beispielsweise durch gravierende Änderungen der Stückzahlen oder des Variantenmixes. Daneben kann der Anstoß für eine erneute Belastungsbewertung auch von den Mitarbeitern selbst oder von deren Vorgesetzten ausgehen,

wenn eine kontinuierliche Abnahme persönlicher Leistungen an bestimmten Arbeitsplätzen oder Vorgängen zu beobachten ist. Je nach Motivation ist der Betrachtungsgegenstand unterschiedlich groß zu fassen beziehungsweise stark einzugrenzen. In allen Fällen, egal ob für die Umgestaltung eines einzelnen Arbeitsplatzes, eines Vorgangs oder eines ganzen Montagesystems, gilt es die Ausgangssituation möglichst präzise und vollständig zu beschreiben. Zusätzlich zu den Profilvergleichsdaten (Arbeitsplatzbewertungen und Einsatzeinschränkungen) sind die Arbeitsvorgangsbeschreibungen/-anweisungen zu aktualisieren sowie falls vorhanden, auch CAD-Modelle oder Layouts. Außerdem muss geprüft werden, ob die Arbeitsplätze oder das System den gängigen Empfehlungen zur wirtschaftlichen und ergonomischen Gestaltung entsprechen. Prävention und Rehabilitation sind in jedem Fall der Integration vorzuziehen.

Auf Basis der Analyse der Ausgangssituation wird die Zielsetzung der Integration beziehungsweise des Integrationsprojektes geklärt und im Sinne der späteren Überprüfbarkeit so gut wie möglich quantifiziert. Über die initiale Motivation hinaus, z. B. zur gezielten Wiedereingliederung eines Einzelnen, ist im Besonderen zu ermitteln, wie viele leistungsgewandelte Mitarbeiter im betrachteten System beschäftigt werden können, und zwar im Verhältnis zu deren gesamten Auftreten. Die wirtschaftlichen Ziele sollten nicht allein auf den zur Verfügung gestellten Investitionsspielraum beschränkt werden, sondern eine Verbindung von Ergonomie und Effizienz von Beginn an einfordern.

Die auftretenden Einsatzeinschränkungen oder kritischen Belastungen bestimmen das primäre Entlastungsziel und damit das vorrangige Gestaltungsfeld für weitergehende technisch-strukturelle Maßnahmen. Der *Einsatz von Handhabungshilfsmitteln* kann neben den Belastungen beim Heben und Tragen von Lasten auch die notwendige Rumpfbewegung, das Arbeiten über Schulterhöhe sowie die Muskelbelastung der Arme u. ä. reduzieren. *Haltungsoptimierung und -unterstützung* verändern neben den Steh-, Geh- und Sitzanteilen ebenfalls die notwendige Rumpfbewegung sowie die Kniebeugung und die Schulterbelastung. Eine erhöhte *Flexibilität bei der Leistungserbringung* kompensiert beispielsweise durch die freiere Einteilbarkeit der Arbeit und durch die Absenkung der Wiederholungen neben Einsatzeinschränkungen bzgl. Taktbindung und/oder Informationsaufnahme unspezifisch auch verschiedene weitere Beeinträchtigungen. Die Auflistung von kritischen Belastungen kann gleichzeitig mit den Einsatzeinschränkungen für den gesamten Betrachtungsbereich erfolgen. Die Zusammenfassung der Anforderungen (in Abschnitt 4.4) zeigt, dass es weder wirtschaftlich noch technisch sinnvoll sein kann, alle Arbeitsplätze hinsichtlich sämtlicher rele-

vanter Kriterien vollständig zu optimieren. Zudem beeinflussen sich die Maßnahmen vielfach gegenseitig, zum Beispiel an benachbarten Stationen. Abbildung 33 fasst die geschilderten Schritte zusammen und zeigt den Ablauf mit inhaltlichen Querverweisen auf die relevanten Grundlagen und Hintergrundinformationen in dieser Arbeit.

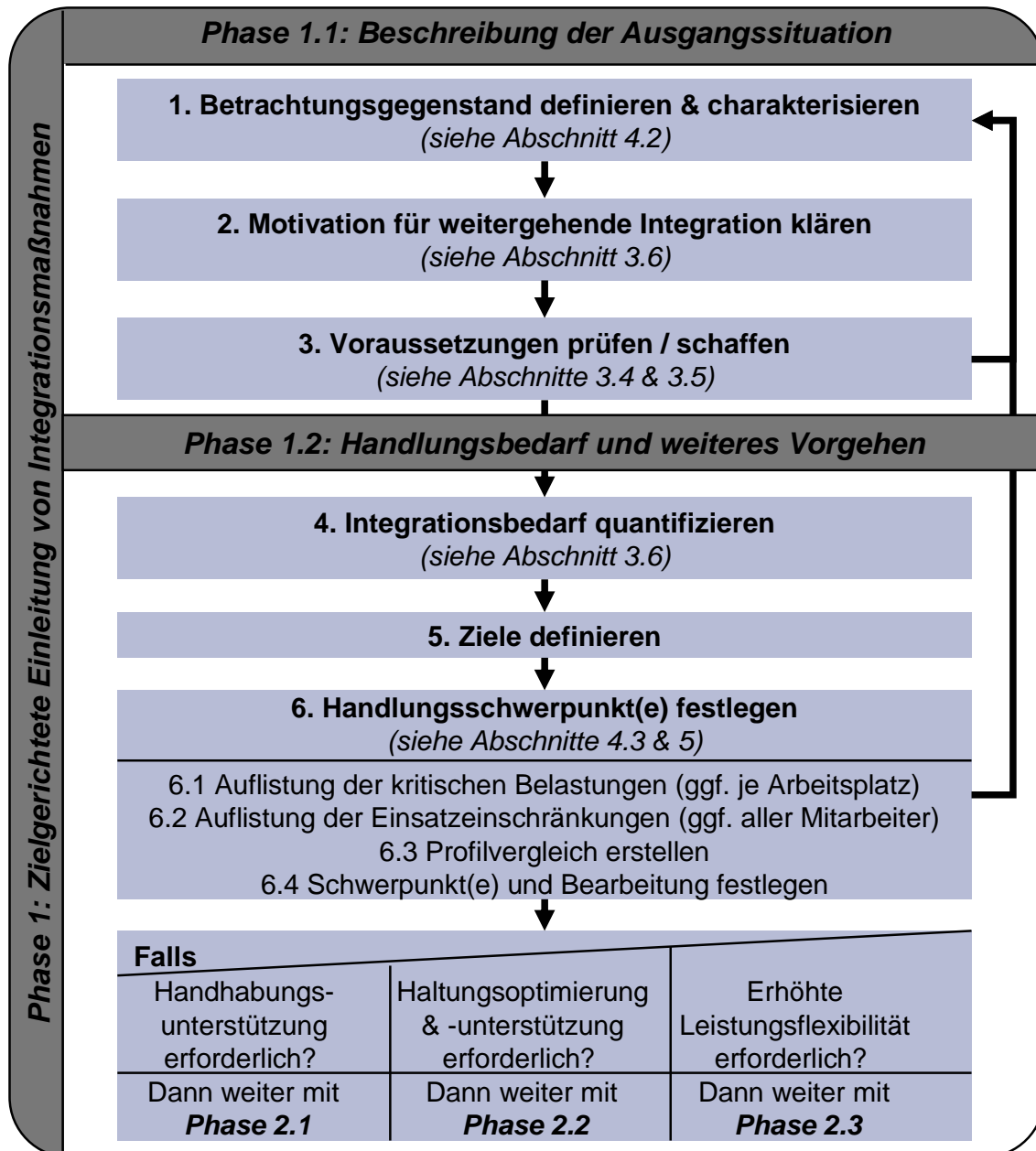


Abbildung 33: Phase 1 des Vorgehens zur erweiterten Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter mittels technisch-struktureller Maßnahmen: Darstellung des Ablaufes zur zielgerichteten Einleitung von Integrationsmaßnahmen

Die fortlaufende Dokumentation in Teil 1 der Integrations-Checkliste sichert die vollständige Analyse und Prüfung sowie die richtige Schwerpunktsetzung und kann später beispielsweise gegenüber dem Betriebsrat oder Integrationsamt als Nachweisdokument dienen (siehe vollständige Integrations-Checkliste in Abschnitt 10.5 im Anhang). Hinweise auf Ablaufphasen und Klassifizierungen an entsprechenden Stellen der Checkliste strukturieren das Vorgehen und fördern die Intuition zur gezielten Lösungssuche (siehe Anwendungsbeispiel in Kapitel 7).

6.3.2 Auswahl von Handhabungshilfsmitteln

Die Abläufe zur Auswahl und Konzeption der verschiedenen technisch-strukturellen Integrationsmaßnahmen je übergeordneter Gestaltungsvorgabe, d. h. je vordringlichem Handlungsschwerpunkt (siehe Abbildung 33), folgen in sich wiederum der in Abschnitt 2.2 beschriebenen und dem gesamten Vorgehen zugrunde gelegten allgemeinen Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. Für die Auswahl und den Einsatz von Handhabungshilfsmitteln zeigt Abbildung 34 die Detailsicht zu Phase 2 des Umsetzungsvorgehens.

Weisen die diagnostizierten Einsatzeinschränkungen oder die identifizierten kritischen Belastungen in erster Linie in Richtung Handhabungsunterstützung, so sind zunächst die kritischen Handhabungsvorgänge näher zu analysieren und zu beschreiben. Es genügen in der Regel einfache Skizzen, welche die Lagen und Zugänglichkeiten von zu handhabenden Montageobjekten und Komponenten sowie gegebenenfalls weiterer relevanter Objekte, wie Verkettungsmittel oder Werkzeuge darstellen. Besonderes Augenmerk gilt der Aufnahme- und Abgabeposition sowie der Orientierung der Objekte inklusive den zugehörigen Toleranzfeldern oder Einschränkungen entlang der Bewegungsbahnen. Im nächsten Schritt müssen die Handhabungsgegenstände selbst untersucht werden. Neben der Erfassung von Abmessungen und Gewichtskräften (inkl. Abweichungen davon) ist zu prüfen, welche physikalischen Einflüsse an bestimmten Stellen zu Beschädigungen führen können. Darauf aufbauend kann aus dem Zusammenspiel von Objekt und Bewegungsablauf das günstigste Greifprinzip (mechanisch, magnetisch, pneumatisch usw.) sowie die einfachste Kinematik, Steuerung und Ausführungsform (Seilzug-, Kettenhub-, Gelenkarm- oder Hubschlauchsystem) vorab festgelegt werden (siehe Grundlagen dazu in Abschnitt 3.5.5).

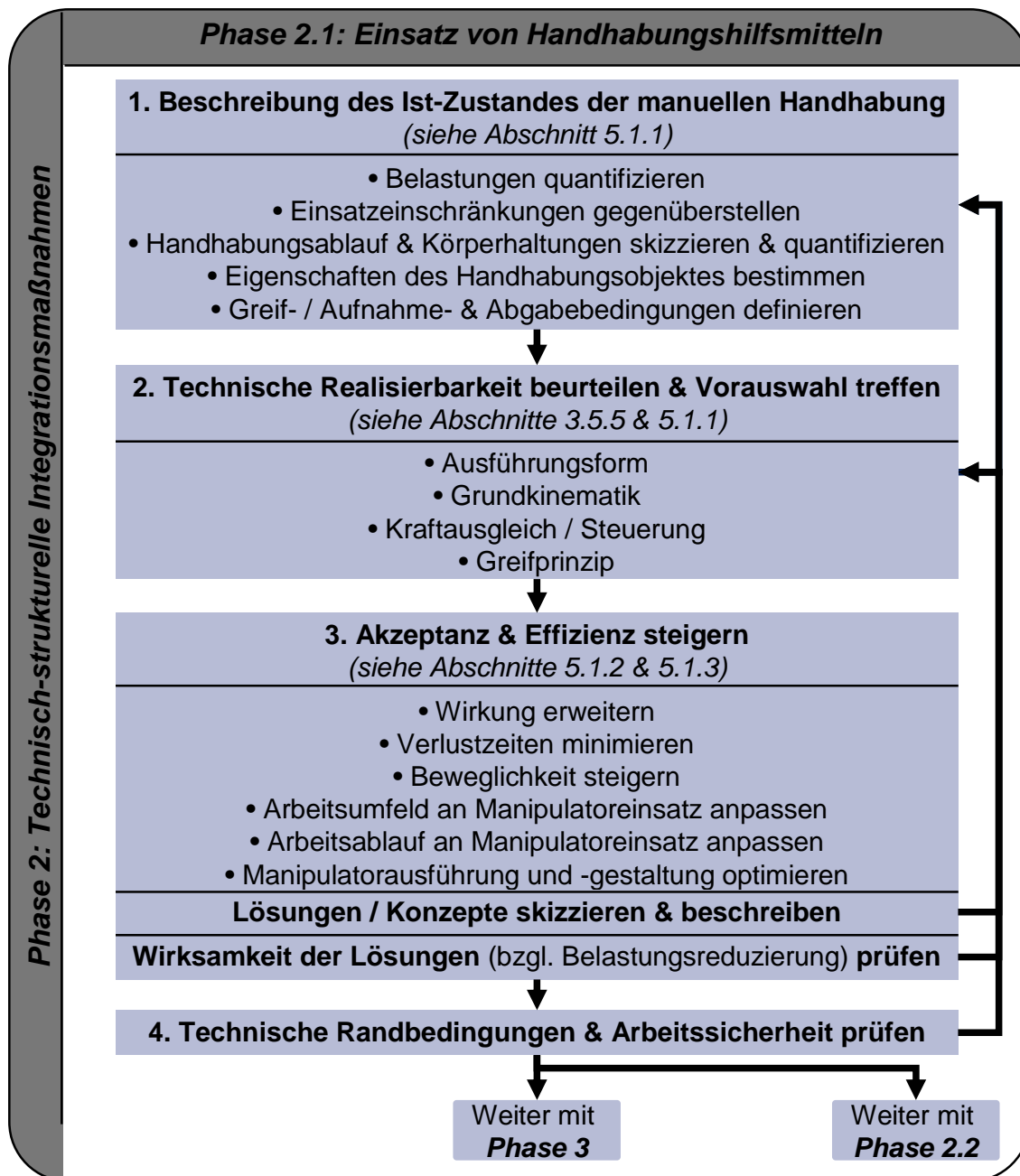


Abbildung 34: Phase 2.1 des Vorgehens zur erweiterten Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter mittels technisch-struktureller Maßnahmen: Darstellung des Ablaufs zur Auswahl von Handhabungshilfsmitteln und Manipulatoren

Ist die geforderte Manipulation damit prinzipiell realisierbar, d. h. es konnte eine technische Lösung identifiziert werden, muss im Folgenden die Akzeptanz bei den Mitarbeitern, v. a. bei den leistungsgewandelten, überprüft und optimiert werden. Entsprechend den Ausführungen in Abschnitt 5.1.2 und 5.1.3 ist hierzu zu ermitteln, ob sich der Manipulator auch für andere Tätigkeiten am betroffenen Arbeitsplatz oder -system eignet und sich so seine Wirkung erweitern lässt. Mög-

liche Zeitverluste sind unbedingt zu minimieren, wohingegen die Beweglichkeitsfreiheit mit dem Manipulator zu maximieren ist. Freiheitsgrade hierfür können unter anderem aus einer Umgestaltung der Umgebung oder des Arbeitsablaufes selbst gewonnen werden. Sofern im Zuge dieser Analysen gegenüber dem initialen Handhabungsablauf keine weiteren Verbesserungen oder Effizienzsteigerungen durch den Manipulatoreinsatz identifiziert wurden, ist die Akzeptanz potenziell gefährdet. In diesem Fall sollten andere Manipulatorausführungsformen beziehungsweise generelle Alternativlösungen, wie beispielsweise eine Teilautomatisierung, näher spezifiziert und in die Auswahl miteinbezogen werden. Der Bewertung und Auswahl der Lösungsalternativen ist eine Erfassung und Prüfung der technischen Randbedingungen vorzuschalten. Für den Einsatz von Manipulatoren sind hierfür in erster Linie die baulichen Voraussetzungen, wie Stahlbau oder Bodentragfähigkeit u. v. m., sowie die Arbeitssicherheit zu prüfen (vgl. HESSE U. A. 2001). Wenn unter den gegebenen unveränderlichen Randbedingungen keine akzeptable technische Lösung zur Beseitigung kritischer Belastungen oder attestierter Einsatzeinschränkungen gefunden wird, muss geprüft werden, ob entweder durch andere technisch-strukturelle Integrationsmaßnahmen wie Haltungsunterstützung und Verteilzeitflexibilitätssteigerung oder durch arbeitsorganisatorische Maßnahmen wie Jobrotation usw. eine ausreichende Reduzierung der Belastungen erreicht werden kann. Erfüllen mehrere Lösungen die Kriterien gleich gut, sollte die endgültige Auswahl und Festlegung erst zusammen mit den weiteren technisch-strukturellen Maßnahmen in ganzheitlichen Maßnahmenpakten erfolgen.

6.3.3 Auswahl von Hilfsmitteln und Maßnahmen zur Haltungsunterstützung und -optimierung

Für die Haltungsunterstützung beziehungsweise -optimierung ist zunächst zu unterscheiden, ob Einsatzeinschränkungen oder kritische Belastungen bei den generellen Grundhaltungen (Stehen, Gehen, Sitzen) oder den (zumindest zeitweise) auftretenden Zwangshaltungen vorliegen. Im ersten Fall ist weiterhin zu unterscheiden, ob ausschließlich eine einzige Haltung (Stehen, Gehen oder Sitzen) während der gesamten Arbeitszeit aufrechterhalten werden muss und andere gar nicht vorkommen oder ob durch eine individuelle Einsatzeinschränkung eine Grundhaltung nur mehr reduziert eingenommen werden darf. Häufig fehlen in modernen Montagesystemen sitzend ausführbare Tätigkeiten, wie in Abschnitt 4.3 dargelegt. Dementsprechend gilt es, den Einsatz von Stehhilfen und Sitzen zu

prüfen und die dafür gegebenenfalls notwendige Anpassung der Zugänglichkeit zum Montageobjekt zu detaillieren. Für die Konzeption vor allem von bewegten Stehhilfen ist in der Regel der Einsatz von CAD-Modellen und Ergonomiebewertungssystemen erforderlich, um die menschlichen Haltungen und die notwendigen Bewegungen in Abhängigkeit von den Lagen und Zugänglichkeiten des Montageobjektes sowie den Basis- oder Verkettungseinrichtungen zu analysieren. Bei stationären Systemen reichen in der Regel einfache Skizzen und Layoutdarstellungen sowie eine Arbeitsplatzbegehung.

Resultiert die Einsatzeinschränkung oder die kritische Belastung aus zeitlich beschränkten Zwangshaltungen oder treten nur bei manchen Mitarbeitern unnatürliche Haltungen bis hin zu Zwangshaltungen auf, wenn diese etwa größer sind als das 95. Perzentil, muss zunächst die Arbeitsplatzanordnung detailliert analysiert werden. Zur gezielten Optimierung oder Auswahl von Hilfsmitteln sind die verschiedenen Arbeitspositionen sowie die bereits implementierten Einstellbarkeiten der Basis- und Verkettungseinrichtungen hinsichtlich der Erreichbarkeit des darauf befindlichen Montageobjektes für Mitarbeiter des 5., 50. und 95. Perzents mitsamt den resultierenden Gelenkstellungen oder ggf. aufzubringenden Kräften zu skizzieren und mit der OWAS-Methode zu klassifizieren. Bei der Suche nach möglichen Freiheitsgraden ist neben der Verkettung und der Umgebung auch das Nutzungskollektiv zu berücksichtigen, d. h. ob eine zeitgleiche gemeinsame Nutzung durch mehrere Mitarbeiter vorliegt oder ob eine individuelle Optimierung möglich ist. Abhilfe schaffen in absteigender Reihenfolge bezüglich der Wirksamkeit

- Veränderungen der Lage, der Orientierung oder der Zugänglichkeit des Montageobjektes,
- Zeit- oder Last-Reduzierungen,
- Toleranzausweitungen sowie
- Nutzungsänderungen von Hilfsmitteln oder der Umgebung.

Scheitern alle Versuche bzw. Maßnahmen, das Montageobjekt besser oder näher an den Mitarbeiter zu bringen, ist der Einsatz von Hebebühnen, Podesten oder manipulierbaren Sitzen (ähnlich bewegten Stehhilfen) zu eruieren. Für die Bewertung der Lösungsalternativen sind in erster Linie die möglichen Beeinträchtigungen der Arbeitsabläufe gesunder Personen mit verschiedenen Eigenschaften (z. B. bzgl. ihrer Größe) zu prüfen und gegebenenfalls iterativ zu optimieren. Die

Prüfung der Wirksamkeit und der technischen Randbedingungen sowie das weitere iterative Vorgehen, inkl. Dokumentation, gestalten sich analog dem beim Einsatz von Manipulatoren (siehe Abbildung 35).

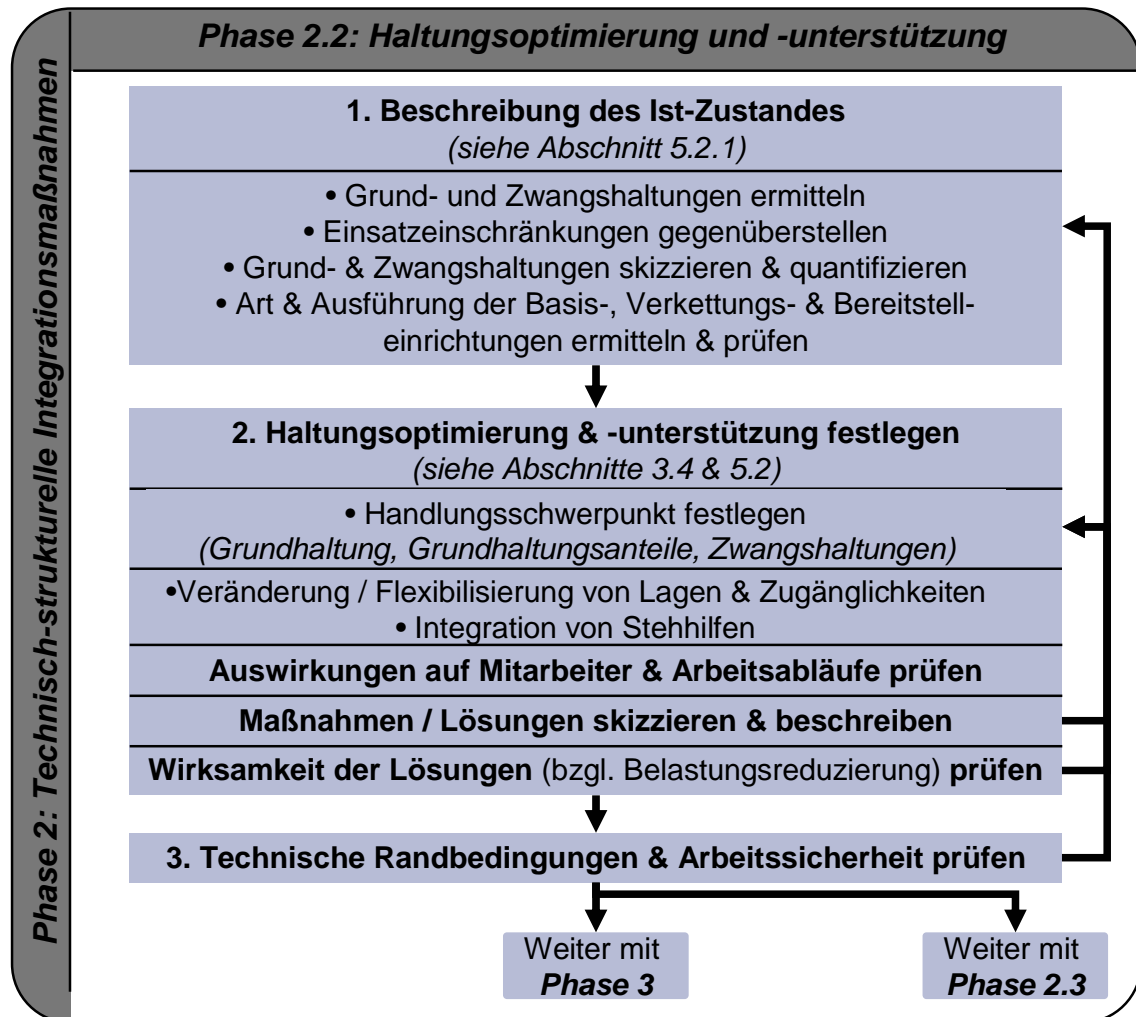


Abbildung 35: Phase 2.2 des Vorgehens zur erweiterten Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter mittels technisch-struktureller Maßnahmen: Darstellung des Ablaufs für die Auswahl von Haltungsoptimierungs- und -unterstützungsmaßnahmen

6.3.4 Auswahl von Maßnahmen zur Flexibilisierung der Leistungserbringung

Sofern weder mit dem Einsatz von Handhabungshilfsmitteln noch mit Haltungsoptimierungs- und -unterstützungsmaßnahmen eine dauerhafte Integration des leistungsgewandelten Mitarbeiters erreicht wird oder wenn die diagnostizierten Einsatzeinschränkungen eine eher unspezifische generelle Entlastung erfordern,

ist abschließend zu prüfen, ob die Leistungserbringung flexibilisiert oder die Verteilzeit erhöht werden kann. Für die Ist-Analyse sind Taktzeiten sowie gegebenenfalls austaktungsbedingte Wartezeiten und Taktbindung (also Umfang der zeitlichen Entkopplung durch Aufnahme-, Weitergabe- und Zuführungspuffer) an den betroffenen Arbeitsplätzen und den benachbarten zu ermitteln. Weiterhin sind die generelle Leistungsanforderung sowie die Art der Montagetätigkeiten näher zu spezifizieren, d. h. wie viele verschiedene Operationen der Werker insgesamt bzw. in jedem Takt ausführen muss und welche Informationen (Art und Umfang) er dazu jeweils neu erfassen muss. Um Freiheitsgrade bei der Systemgestaltung zu identifizieren, sollte neben einer Strukturdarstellung samt zugehöriger Austaktung auch die Montagereihenfolge graphisch dargestellt werden.

Im einfachsten Fall ist für die Auswahl geeigneter Flexibilisierungsmaßnahmen nur zu prüfen, ob die vorhandenen Puffer gezielt erweitert werden können. Ist dies nicht möglich oder birgt dies nur geringes Potenzial und sind andererseits erhebliche Wartezeiten oder größere Flexibilitäten an den benachbarten Plätzen erkennbar, so ist die Arbeitsaufteilung auf die verschiedenen Plätze und Stationen eines Montagesystems und die Systemstruktur zu überprüfen. Die Freiheitsgrade hierfür werden durch die möglichen alternativen Fügereihenfolgen des Produktes sowie durch die Anlagen- und Prozesstechnik bestimmt beziehungsweise begrenzt. In der Regel versucht der Arbeitsplaner bei der Austaktung die auftretenden Belastungen möglichst gleichmäßig zu verteilen. Für die gezielte Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter kann es aber förderlich sein, das Lastkollektiv bewusst einseitiger zu gestalten, indem beispielsweise erhöhte informatorische Belastungen gebündelt und andererseits physische reduziert werden. Der Spielraum ist jedoch gerade bei Reihen-, Fließ- und Taktstraßenmontage eher gering oder erfordert größere technische Umbauten zur Verlagerung von automatisierten Betriebsmitteln. Besteht die Bereitschaft zur technischen Umgestaltung, eröffnen sich weitere Freiheitsgrade, wie die Verwendung von Mehrfachwerkstückträgern oder das Integrieren und Duplizieren von Stationen sowie die Ausgliederung von Inselmontagen in den Nebenfluss. Stellen sich die technischen Änderungen als nicht realisierbar heraus, bleibt der Rückgriff auf weiterführende strukturell-strategische Maßnahmen, wie die Auslagerung von Tätigkeiten an andere Abteilungen, v. a. an die Logistik oder an Zulieferer. Da alle diese Maßnahmen immer größere Teile des Montagesystems und damit eine Gruppe von Personen betreffen, sind die Auswirkungen auf alle Mitarbeiter (leistungsgewandelte und gesunde mit unterschiedlichen Leistungsprofilen) zu überprüfen. Zur Abarbeitung der Fragen sowie Dokumentation und Auswahl der Ideen und

Integrationsansätze empfiehlt sich wiederum die Verwendung einer Checkliste sowie das beim Einsatz von Manipulatoren beschriebene weitere Vorgehen zur technischen Auslegung (siehe Abbildung 36).

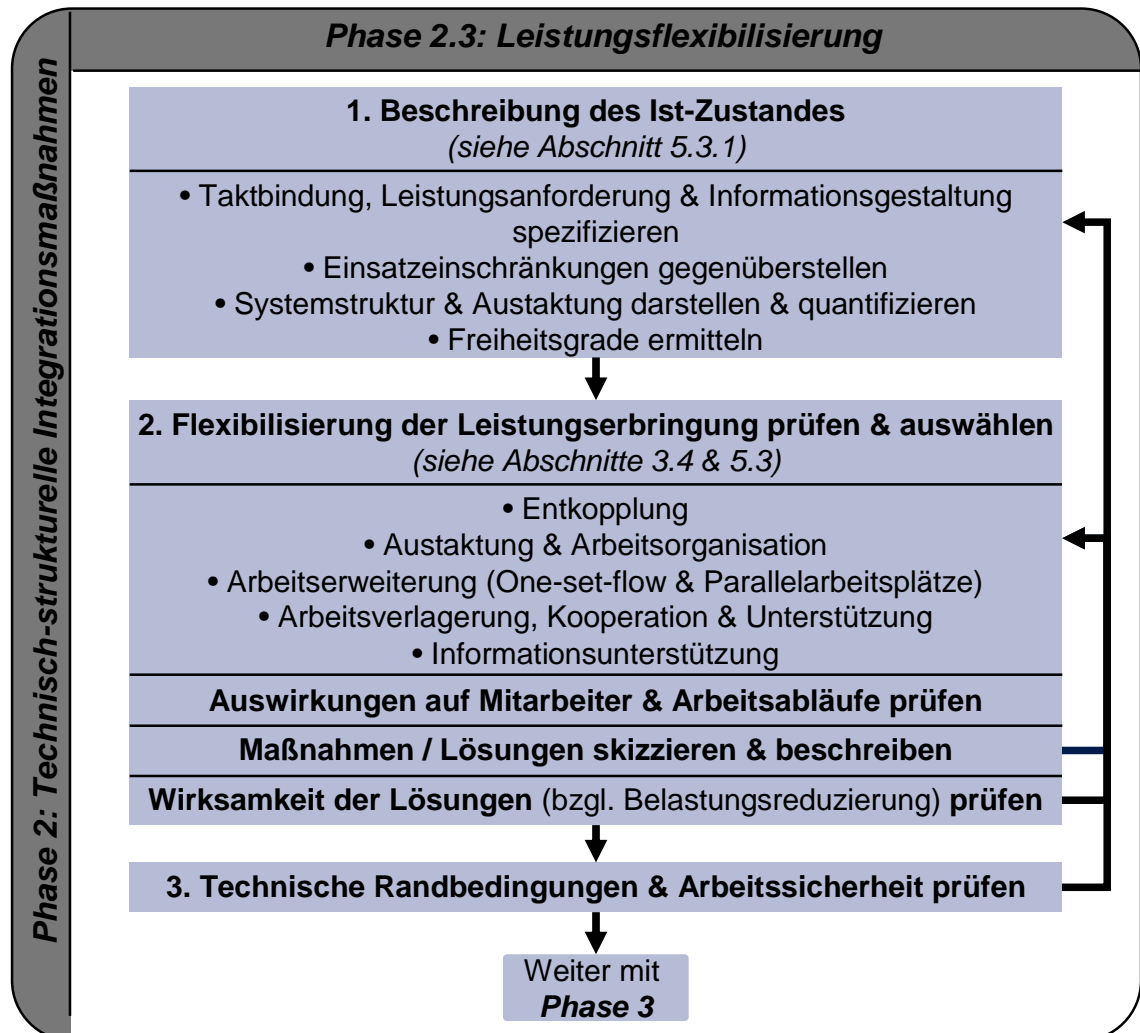


Abbildung 36: Phase 2.3 des Vorgehens zur erweiterten Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter mittels technisch-struktureller Maßnahmen: Darstellung des Ablaufs zur Umsetzung struktureller und organisatorischer Maßnahmen zur Flexibilisierung der Leistungserbringung

6.3.5 Prüfung, Realisierung und Weiterführung

Die Bewertung und die Priorisierung der Integrationsmaßnahmen müssen nachweisbar der Ergonomie- und Effizienzsteigerung folgen. Um die Situation ganzheitlich zu erfassen, empfehlen sich zunächst eine Aktualisierung der Arbeits-

platzbewertung(en) und ein neuer Profilvergleich, welcher die verschiedenen möglichen Veränderungen miteinbezieht. In der Regel ist die Wirtschaftlichkeit der einzelnen Investitionen rein monetär, beispielsweise über Zeiteinsparungen oder Qualitätsverbesserungen durch den Hilfsmiteileinsatz, nicht nachweisbar, vor allem wenn der planerische Aufwand mit hinzu gerechnet wird. Dementsprechend gilt es, die Lösungen anhand der Projektzielsetzung zu überprüfen und auszuwählen. Je nach Projektumfang sind (alternative) Maßnahmenpakete zu bilden und zu bewerten (siehe Abbildung 37). Die Gegenüberstellung verschiedener Lösungsoptionen sollte anhand einer Nutzwert-Kosten-Analyse erfolgen, da einem erhöhten nicht monetär bewertbaren (Integrations-)Nutzen in der Regel höhere (Betriebs-)Kosten gegenüberstehen (vgl. RINZA & SCHMITZ 1993).

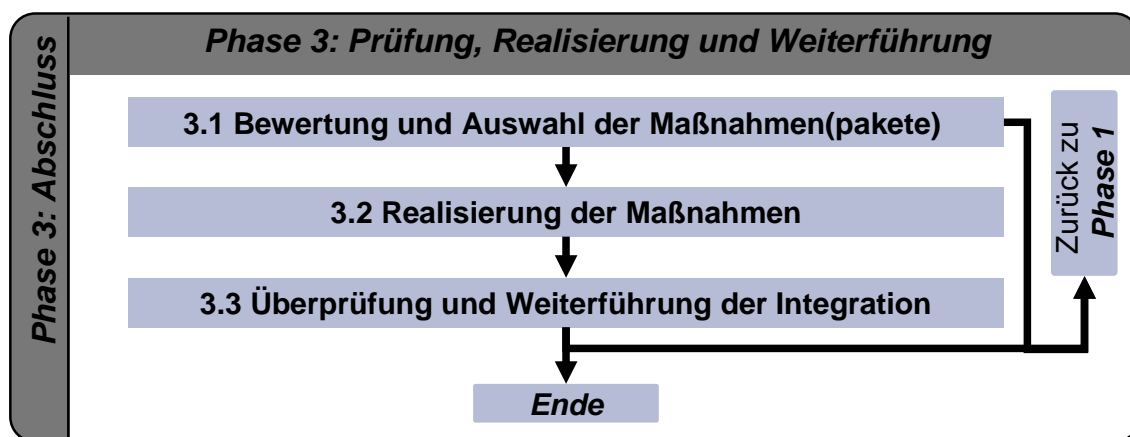


Abbildung 37: Phase 3 des Vorgehens zur erweiterten Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter mittels technisch-struktureller Maßnahmen: Darstellung des Ablaufes der Bewertung, Realisierung und Weiterführung

Generell zeigen sich bei der Wirtschaftlichkeit der Integration leistungsgewandelter Arbeitnehmer Parallelen zur Ergonomie: Die Effekte, die durch die Verbesserung der Arbeitsbedingungen erreicht werden, sind in der Regel erst verzögert und zudem selten isoliert erkennbar. Dennoch sind die Errungenschaften und nachhaltigen Produktivitätssteigerungen einer ergonomischen Arbeitsplatzgestaltung heute durchweg anerkannt (siehe Abschnitt 2.4). Die Sinnhaftigkeit technisch-struktureller Integrationsmaßnahmen muss daher mit den in den einleitenden Kapiteln genannten allgemeinen oder speziellen Notwendigkeiten begründet werden, z. B. bei kritischen „roten“ Lastfällen im Rahmen einer ABA-Bewertung. Bei der Freigabe der Maßnahmen ist der Investitionsumfang möglichst genau abzuschätzen und die Effizienzsteigerung dem zu erwartenden Wegfall von Ausfallkosten (einzelner) leistungsgewandelter Mitarbeiter gegenüberzu-

stellen. Zielführend ist es, je Einzelplatzmaßnahmenpaket auf Basis der mittleren Ausfallkosten einer leistungsgewandelten Person ein definiertes jährliches Budget zur Verfügung zu stellen: z. B. 5 % eines durchschnittlichen Jahreslohns, entsprechend der erhöhten Abwesenheitsquote bei nicht adäquatem Einsatz (siehe Abschnitt 3.6), und dies je Schicht, in welcher der Arbeitsplatz für Leistungsgewandelte zur Verfügung steht. Für Neuplanungen ist darauf lediglich der jährliche Zusatzinvestitionsanteil anzurechnen, wobei der Spielraum größer gewählt werden sollte, um die technologische Weiterentwicklung effizienter ergonomischer und integrationsfreundlicher Maßnahmen zu fördern.

Für komplexe Fälle und wenn vollständige CAD-Daten vorliegen, empfiehlt sich zusätzlich eine umfassende computergestützte Ergonomiestudie bereits während der Detaillierung und Konstruktion zusammen mit der Betriebsmittelkonstruktion oder mit Systemlieferanten. Die ausgefüllten Checklisten dienen bei weitergehenden technischen Veränderungen oder Neuanschaffungen von Betriebsmitteln (wie beispielsweise Manipulatoren) zugleich als Basis für ein Lastenheft, welches entweder unternehmensintern den Dienstleistungsabteilungen oder externen Lieferanten übergeben wird. Während der Realisierungsphase ist aufgrund der engen und komplexen Wechselwirkung von Arbeitsplatz- und Betriebsmittelgestaltung eine regelmäßige Abstimmung zwischen Anwender und Dienstleister oder Systemlieferant unabdingbar. Für die grundlegende Aufgabenstrukturierung zur Beschaffung und Installation von Betriebsmitteln sei auf EVERSHEIM & SCHUH (1996, S. 9-82 ff.) verwiesen.

Der Arbeitsschutzverantwortliche bzw. der Disability Manager sollte regelmäßig zu den Projektbesprechungen hinzugezogen werden. Einen idealen Raum für die kreative Lösungssuche, aber auch für die Abstimmung im Zuge der Realisierung, bieten vielfach Teammeetings und Besprechungen zu Verbesserungsvorschlägen von Werkern, Teamleitern, Meistern und Planern. Um von allen akzeptiert zu werden, sollten die (Integrations-)Maßnahmen schließlich die Ergonomie und Effizienz für das gesamte Team steigern. In der Integrations-Checkliste sollten auch weiterführende Ideen und Lösungsansätze, die zum Beispiel die Produktgestaltung oder die Anlagentechnik insgesamt betreffen, festgehalten werden, um sie später in Neuprojekte oder in den kontinuierlichen Verbesserungsprozess einbringen zu können. Dazu sollte bei der Planung der Maßnahmen bereits ein Wiedervorlagdatum festgelegt werden, zu dem die Wirksamkeit der Maßnahmen überprüft wird. Für diese Überprüfung empfiehlt sich wiederum eine Erneuerung der Arbeitsplatzbewertung und gegebenenfalls des Profilvergleichs. Veränderungen von Stückzahlen oder der Variantenstruktur können die Belastungskollektive

beeinflussen, ebenso können sich die persönlichen Leistungsbeeinträchtigungen oder die der Gruppe unterschiedlich entwickeln. Von besonderer Bedeutung ist im Zuge des Reviews die Prüfung der Wirtschaftlichkeitsannahmen, d. h. folgende Fragen sind von Interesse: Wurden neben den Ergonomieverbesserungen auch die erwarteten Kostensenkungen oder Qualitätssteigerungen erreicht? Wie hoch fielen die Investitionen tatsächlich aus? Ist über den leistungsgewandelten Mitarbeiter hinaus eine Reduzierung der Ausfall- und Fehlzeiten erkennbar oder wurden stattdessen bei anderen Mitarbeitern Einsatzeinschränkungen attestiert?

Mit dem Erfahrungsschatz lassen sich vor allem zukünftige technisch-strukturelle Integrationsmaßnahmen besser vorab beurteilen. Außerdem können kritische Belastungen oder allgemeine Einsatzeinschränkungen frühzeitig durch Einwirkung auf die Produkt- oder Anlagengestaltung im Simultaneous-Engineering-Prozess für Folgeprojekte durch Wiederaufgreifen der Ideensammlung berücksichtigt werden. Das Review kann aber auch zur Folge haben, dass einzelne technisch-strukturelle Lösungen wieder zu revidieren sind, wenn die Einsatzeinschränkungen entfallen und/oder gesunde Mitarbeiter in ihrer Leistungserbringung zu stark behindert werden. Die Anwendung der Vorgehensweise wird in Kapitel 7 näher erläutert.

7 Anwendung und Evaluierung

7.1 Ausgangssituation und Handlungsbedarf

Die durchgängige Anwendung der Methodik wird im Folgenden am Beispiel einer im Rahmen der Arbeit betrachteten zentralen Vormontagelinie für Antriebssysteme in der Automobilproduktion vorgestellt. Der OEM verfügt über ein systematisches und strategisches Gesundheits- und Wiedereingliederungsmanagement mit entsprechender organisatorischer Verankerung. Zudem berücksichtigen sowohl die Arbeits- als auch die Montagesystemgestaltung die einleitend dargestellten wirtschaftlichen und ergonomischen Grundlagen gemäß dem Stand der Technik. Der steigende Anteil nicht adäquat beziehungsweise nicht mehr im ursprünglichen Bereich wertschöpfend beschäftigter leistungsgewandelter Mitarbeiter resultiert in erster Linie aus Werksgründungen in den 70er Jahren, für die fast ausschließlich junge Mitarbeiter und Facharbeiter akquiriert wurden, welche nun gleichsam blockmäßig altern. Insgesamt sind bereits heute ca. 10 % der Arbeitnehmer leistungsgewandelt. Der betrachtete Montagebereich beschäftigt knapp 5 % des zugehörigen Werkspersonals.

Die Antriebsbaugruppe und deren vielfältige Varianten werden jeweils aus ca. 25 Bauteilen oder Unterbaugruppen vorwiegend manuell oder teilautomatisiert montiert. Bei den wesentlichen Bauteilen und Baugruppen, wie Abtriebswelle, Lager, Bremsscheibe und -sattel sowie Radträger handelt es sich um kompakte vorwiegend metallische Bauteile mit mittleren Massen von vier bis zehn Kilogramm und Hauptabmessungen von siebzig bis zu fünfhundert Millimeter. Die Montage erfolgt an einem zentralen Vormontage- und Einlaufbereich (in Stand- und Inselmontageorganisationsform) sowie auf zwei spiegelbildlichen Taktstraßen mit festen Arbeitsplätzen, welche jeweils ringförmig um einen angetriebenen Staurollenförderer mit Werkstückträgern angeordnet sind und abwechselnd die Baugruppen für die linke beziehungsweise die rechte Fahrzeugseite erstellen (siehe Abbildung 38). Die Zuführung der eingelaufenen und vormontierten Baugruppen geschieht automatisiert über eine großzügig dimensionierte Pufferstrecke für alle Varianten. Die Taktzeit beträgt in etwa 25 Sekunden, wofür der gesamte Montageprozess weitgehend in kleinste Teile, d. h. einzelne Fügeoperationen zuzüglich der Materialzubringung, zergliedert wurde. Verschraubungen und Verpressungen werden automatisiert mit entsprechender Prozessüberwachung und -kontrolle ausgeführt. Die Entkopplung der sieben Mitarbeiter von den 14 Automatikstatio-

nen erfolgt über 55 Werkstückträger. Die Beschäftigung ist auf zwei Schichten mit flexiblen Arbeitszeiten ausgelegt. Während einer Schicht tauschen die Mitarbeiter teilweise auf freiwilliger Basis die Plätze. Die Materialversorgung wird vorwiegend nach den Just-in-time- oder dem Just-in-sequence-Prinzip aus den Transportgebinden vorgenommen. Eine Baugruppe wird derzeit vorab umgepackt beziehungsweise montagegerecht kommissioniert.

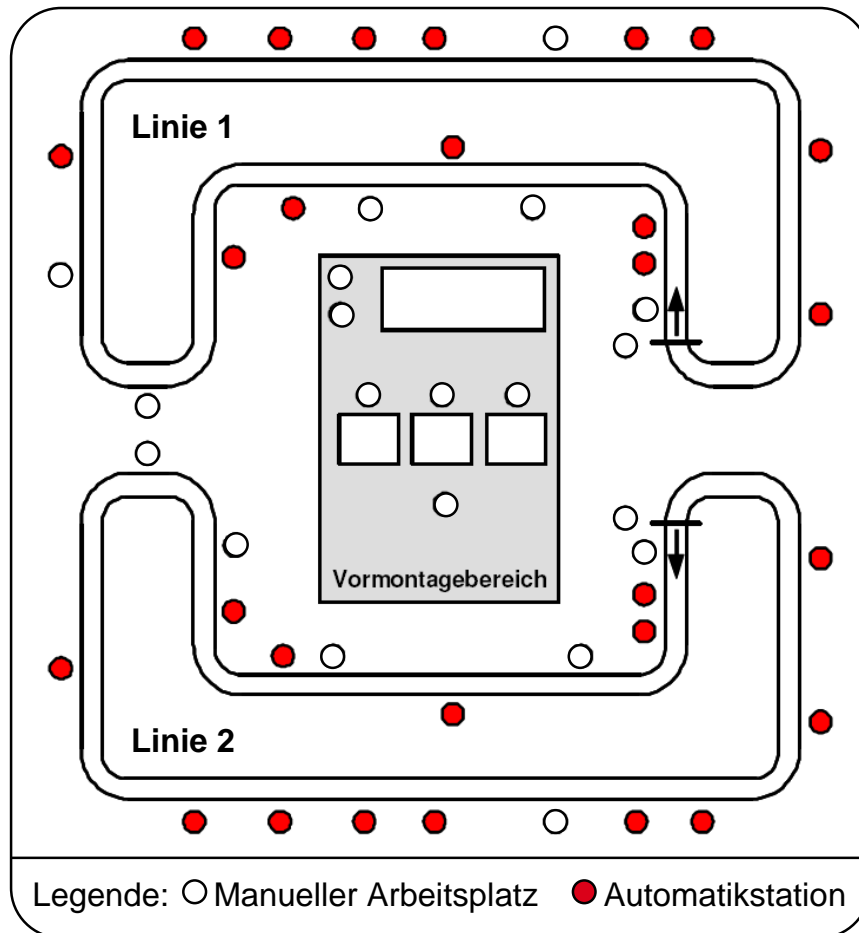


Abbildung 38: Strukturdarstellung des betrachteten Vormontagebereichs und der zugehörigen Arbeitsplätze und -stationen des Automobilherstellers

7.2 Projektanstoß und zielgerichtete Initiierung technisch-struktureller Integrationsmaßnahmen

Den Projektanstoß gab eine regelmäßige Überprüfung der Arbeitsplatzbewertungen durch die zuständige Planungsabteilung. Durch eine Verschiebung des Variantenmixes hin zu leistungsstärkeren Produkten werden kritische Belastungen bei

mehreren Kriterien erreicht, trotz Beachtung aller Regeln zur präventiven ergonomischen Gestaltung der Ausführungsbedingungen, wenn auch keine unmittelbare Gesundheitsgefährdungen (aufgrund „roter Lastfälle“ gemäß dem EBI) zu erwarten sind. Zugleich steigen im Werksbereich sowohl die Anzahl älterer als auch die der leistungsgewandelten Mitarbeiter. Derzeit stehen noch genügend Ausweicarbeitsplätze, vor allem in den Dienstleistungsbereichen wie der Logistik oder der Instandhaltung, zur Verfügung. Dennoch wird bereits heute aktiv nach Lösungen für Folgeprojekte gesucht. Abbildung 39 zeigt das Ergebnis des Profilvergleiches der Arbeitsplatzbewertungen in der entsprechenden Ampelschaltung zur Beurteilung des potenziellen Handlungsbedarfs mit der Verteilung der diagnostizierten Einsatzeinschränkungen.

Die Mehrheit der kritischen Belastungen (elf der insgesamt 22 gelben Lastfälle aller 10 x 19 Bewertungsfelder) lässt sich dem Heben und Tragen zuordnen, vor allem beim Zubringen der Bauteile (gemäß *Gestaltungsvorgabe I*). Damit empfiehlt sich die Prüfung des Einsatzes von Handhabungshilfsmitteln, obwohl die Gewichtskräfte arbeitsschutzrechtlich als unbedenklich gelten. Eine Reduzierung der Bauteilmasse selbst ließe sich nur durch kostspielige und technisch riskante Materialwechsel erreichen und ist mittelfristig nicht umsetzbar. Die ebenfalls kritisch belastende Grundhaltung resultiert vor allem aus dem vollständigen Fehlen sitzender Tätigkeiten an acht der zehn Arbeitsplätze (siehe *Gestaltungsvorgabe II*; die Detailauswertung findet sich in Abbildung 64 in Abschnitt 10.7 im Anhang). Der Profilvergleich zeigt die Integrationshemmnisse deutlich: Zu den Merkmalen mit kritischen Belastungen liegen die meisten attestierten Einsatzeinschränkungen vor (siehe 1. und 2. Block in Abbildung 39). Die überwiegende Mehrheit der Leistungseinschränkungen entfällt auf das Merkmal Nr. 11 „Handhaben von Lasten“ in Kombination mit der dafür oftmals nötigen „Beweglichkeit des Rumpfes“ (Merkmal Nr. 4). Mit einigem Abstand in der Häufigkeit der Nennungen folgen Einschränkungen bei der dauerhaft aufrechterhaltbaren Grundhaltung (Merkmal Nr. 10), welche sich auf 13 unterschiedliche Kombinationen verteilen, von „Stehen nur bis zu 5 % der Schichtzeit möglich“ bis „Sitzen nur bis zu 30 % der Schichtzeit möglich“ (siehe Abbildung 65 im Anhang).

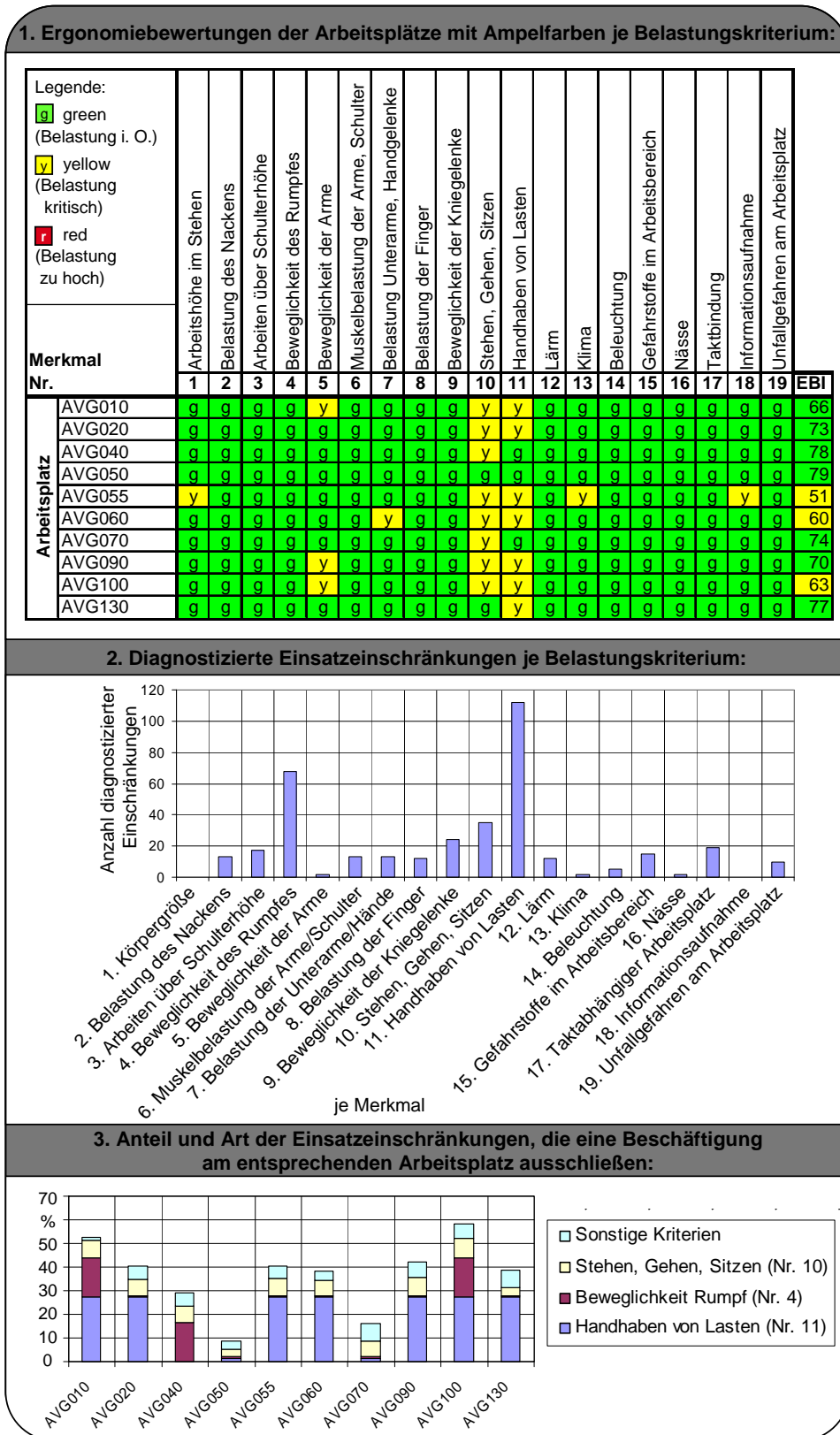


Abbildung 39: Gegenüberstellung von Arbeitsplatzbewertungen und Einsatz einschränkungen leistungsgewandelter Mitarbeiter und Profilvergleich für die betrachteten Arbeitsplätze

Die detaillierte Betrachtung der Integrationshemmnisse auf Arbeitsplatzebene zeigt (siehe 3. Block in Abbildung 39), dass in der betrachteten Montagelinie trotz guter ergonomischer Gestaltung und Jobrotation pro Schicht nur an zwei Arbeitsplätzen je Linie (AVG050 und AVG070) leistungsgewandelte Mitarbeiter mit günstigem individuellem Einschränkungprofil wertschöpfend einsetzbar sind. Setzt man diese Zahl ins Verhältnis zur Gesamtzahl der Leistungsgewandelten, so ist der Quotient kleiner als der Anteil der auf den Bereich insgesamt entfallenden Beschäftigung (siehe ausgefüllte Checkliste in Abbildung 66 in Abschnitt 10.7 im Anhang). Dementsprechend sollten im Rahmen des Projektes gezielt weitergehende technisch-strukturelle Integrationsmaßnahmen initiiert werden, um die Anzahl integrationsförderlicher Arbeitsplätze zu verdoppeln. Nach der Optimierung sollten weitgehend alle Belastungen im unkritischen „grünen“ Bereich liegen. Weiterhin sollte ein zweiter so genannter „Null-Last-Arbeitsplatz“ geschaffen werden, an dem im Sitzen ohne nennenswerten Kraftaufwand (Risikozahl für Lasthandhabung = 0) und mit nur geringen Greifwegen (< 600 mm, siehe Tabelle 3, S. 41) gearbeitet werden kann und der damit für nahezu jegliche Art von Leistungseinschränkung unkritisch ist. Die Flexibilität der manuellen Vorgänge sollte beibehalten und die Betriebskosten sollten gesenkt werden. Gemäß den in Kapitel 4 abgeleiteten Gestaltungsvorgaben und der in der Integrations-Checkliste eingearbeiteten Methodik (aus Kapitel 6) galt es demnach, zunächst den Einsatz von Handhabungshilfsmittel zu untersuchen und anschließend Maßnahmen zur Haltungsoptimierung und -unterstützung zu erarbeiten. Da die Erkenntnisse auch in die Neuplanung für die Ablöse der Anlage einfließen sollten, wurden zusätzlich weitergehende strukturelle Integrationsmaßnahmen zur Leistungsflexibilisierung (gemäß *Gestaltungsvorgabe III*) geprüft.

7.3 Einsatz von Manipulatoren bei mittelschweren Bauteilen

Für sieben Arbeitsplätze mit kritischen Werten bei der Handhabung von Lasten (siehe Merkmal Nr. 11 in Abbildung 39) wurden auf Basis der vollständig vorliegenden Arbeitsvorgangsbeschreibungen und Layouts die Bewegungsabläufe skizziert und die Handhabungsobjekte näher charakterisiert. Abbildung 40 zeigt das Vorgehen und die Dokumentation mittels Checkliste beispielhaft für das Zubringen und Fügen der Bremsscheiben.

Integrations-Checkliste: Teil 2.1 "Handhabungsmiteinsatz"

Fragebogennummer: 5 **Arbeitsplatz:** AVG090

Beschreibung des Ist-Zustandes der manuellen Handhabung

Quantifizieren Sie den kritischen Lastfall entsprechend der Risikozahl (RKZ) der Arbeitsplatzbewertung:

Gesamttakt: 25 s Handhabungsgewicht: < 8 kg > < 20 kg >
 Handhabungszeit: 10,3 s Anzahl der Hebevorgänge pro Takt: 1
 Schichtanzahl: 2 Anzahl der Hebevorgänge pro Schicht: 1100
Risikozahl (RKZ): 36 **Lastfall:** grün (< 25) gelb (25 bis 50) rot (> 50)

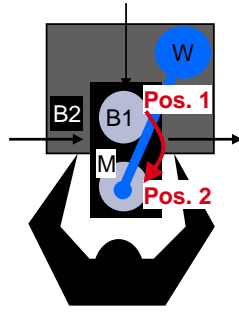

Quantifizieren Sie die attestierten Einzeinschränkungen (u. a. mit Hilfe der Risikozahl):

kein Heben und Tragen möglich RKZ < 10 zulässig RKZ < 25 zulässig RKZ < 50 zulässig

Treten weitere relevante Einschränkungen oder kritische Belastungen auf, wie "Beweglichkeit des Rumpfes", "Muskelbelastung der Arme & Schulter" oder "Arbeiten über Schulterhöhe"?

Antwort	Bemerkung
ja	
Sonstiges:	

1. Skizzieren Sie die kritischen Handhabungsabläufe und die dabei auftretenden Körperhaltungen:

Draufsicht: 	ggf. Seitenansicht(en) oder Fotografie(n): 
------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Markieren Sie insbesondere:

- Lage & Zugänglichkeit der Montageobjekte (M1 ... Mi)
- Lage & Zugänglichkeit zu den bereitgestellten Materialien (B1 ... Bj)
- ggf. Lage & Zugänglichkeit der Verkettungs- / Weitergabemittel (V1 ... Vk)
- ggf. Lage & Zugänglichkeit von Werkzeugen oder weiterer Hilfsmittel (W1 ... Wl)
- ggf. Lage & Einsehbarkeit der Informationsbereitstellung

2. Beschreiben Sie (quantitativ) den Bewegungsablauf:

a) Aufnahme- und Zielposition (Lageänderung):

minimale Aufnahmehöhe (Unterkante): 1020 mm < 560 mm > 1350 mm
 maximale Aufnahmehöhe: 460 mm
 minimaler horizontaler Verschiebeweg: 970 mm > 600 mm
 maximaler horizontaler Verschiebeweg: 4500 mm < 560 mm > 1350 mm
 minimale Ablagehöhe (Unterkante): 0 mm
 maximale Ablagehöhe: 0 mm
 freie Raumhöhe: 0 mm

Orientierungsänderung:
 Drehen: 0 Grad Schwenken: 0 Grad
 Wenden: 0 Grad Neigen: 0 Grad

Auslenkung aus Schwerpunktlage

b) Weitergehende Aufgaben:

Sichtprüfung der Bauteile Überwachung des Fügevorgangs
 Sonstige: Ausrichten und Verschrauben

3. Bestimmen Sie die Objekteigenschaften:

Objekthauptform:
 rund rechteckig sperrig-groß stabförmig / Langgut

Hauptwerkstoff: Metall
 Oberfläche: lackiert bzw. geschliffen

besondere (kritische) **Eigenschaften** für Greifvorgang:

kratzempfindlich wenig Flächenpressung Explosionsgefahr
 naß oder ölig biegeschlaff, instabil aggressiver Stoff
 ferromagnetisch porös, durchbrochen EMV / Restmagnetisierung kritisch

Abbildung 40: Beschreibung der manuellen Handhabung bei der Bremscheidenmontage in Teil 2.1 der Integrations-Checkliste

Das Umsetzen und Fügen der Bremsscheibe auf die Mitnehmerflanschnabe erfordern in jedem Takt einen Greifweg von ca. 400 mm und das Handhaben einer Masse von 4,5 kg bis 8,2 kg. Damit ist der Vorgang an sich auch nach den Kriterien für ältere und tendenziell leistungsgewandelte Mitarbeiter nicht per se kritisch (siehe Gestaltungsempfehlungen in Tabelle 3, S. 41). Durch die kurze Taktzeit von nur 25 Sekunden summiert sich die zu bewegende Last über die Dauer einer Schicht aber auf bis zu 7 t und ergibt eine kritische Risikozahl von 36 für das Heben und Tragen von Lasten. Da an den anderen Arbeitsplätzen ähnliche kritische Belastungen vorliegen, kann auch durch Jobrotation keine ausreichende Entlastung der Mitarbeiter erzielt werden. Da weder der Arbeitsplatzaufbau noch das Greifobjekt (die Bremsscheibe) selbst besondere Anforderungen an die Bewegung stellen, empfiehlt sich der Einsatz eines Manipulators. Für den Fügevorgang ist eine exakte Orientierung notwendig, die im Wesentlichen bereits an der Aufnahmestelle vorliegt. Dementsprechend sollte den Empfehlungen aus Abschnitt 5.1.3 folgend ein Gelenkarmmanipulator verwendet werden (siehe auch Auswahlempfehlung in Teil 2.1 der ausgefüllten Integrations-Checkliste in Abbildung 67 in Abschnitt 10.7 im Anhang). Da die Bauteile variantenspezifisch vereinzelt zugeführt werden, können die Daten für die zu kompensierende Gewichtskraft direkt aus der Systemsteuerung übernommen und voreingestellt werden. Damit entfällt eine aufwändige Sensorik und Einregelungszeitverluste werden vermieden. Als Aufhängungssystem sollte eine kartesische Grundkinematik verwendet werden. Bei der Aufnahme muss das Bauteil über die Fixierungen hinaus leicht angehoben, dann linear verschoben, anschließend lateral feinpositioniert und abschließend abgesetzt werden. Die Hauptverschiebeachse muss sich daher an der linearen Zuführebewegung orientieren.

Im nächsten Schritt gilt es, die Ausführung des Manipulators und dessen Einsatz am Arbeitsplatz zu optimieren. Zur Unterstützung wurde wiederum Teil 2.1 der Integrations-Checkliste verwendet (siehe Abbildung 41).

Steigerung der Akzeptanz des Hilfsmiteinsatzes und Lösungsmöglichkeiten	
7. Erweitern / Steigern Sie die Wirkung des Manipulators:	
Frage	Antwort, ggf. zuzüglich Bemerkung oder Lösungsidee
Können zusätzlich durchzuführende Tätigkeiten (siehe 2.b) in den Manipulator oder Manipulationsvorgang integriert werden?	ja <i>Mehrfachschrauber und Greifer integrieren, ggf. so dass Schrauber sich automatisch zentriert und ausrichtet</i>
Ist Mehrfachgreifen / -handling manuell möglich?	nein
Ist Mehrfachgreifen / -handling mit Manipulator realisierbar? Beachten Sie Bauteilvarianten und die Bereitstellung!	nein
Sind (definierte) Fügekräfte aufzubringen?	nein
Können der Manipulator oder der Greifer diese aufbringen?	nein
Sind Qualitätsrestriktionen vorhanden? Kann der Manipulatoreinsatz die Prozesssicherheit oder die Qualität steigern?	ja <i>Fügen von Bohrung und Nabe ohne Beschädigung</i> evtl.
8. Reduzieren Sie die Verlustzeiten:	
Frage	Antwort, ggf. zuzüglich Bemerkung oder Lösungsidee
Lässt sich das Bauteil selbstbetätigend (mechanisch) greifen und auch wieder abgeben?	ja
Ist eine schnelle automatische (haptische) Werkerrückinformation realisierbar?	ja <i>über Federdruckpunkt beim Greifer und Einrastgeräusch</i>
Muss der Manipulator über eine weitere Strecke (> 600 mm) ohne Last zurückgeführt werden?	nein
Ist eine automatisierte Rückführung des Manipulators (zu einer def. Position) realisierbar?	nein
9. Erweitern / Steigern Sie die Beweglichkeit des Mitarbeiters mit dem Manipulator:	
Frage	Antwort, ggf. zuzüglich Bemerkung oder Lösungsidee
Entspricht die Grundkinematik dem Bewegungsablauf?	teilweise <i>Stabmanipulator mit karthesischer Aufhängung, d.h. Freiheitsgrad senkrecht zum Greifweg erweitert</i>
Werden zusätzliche Hauptachsen beschleunigt?	nein
Schränkt der Manipulator die Bewegungsfreiheit ein?	ja <i>Schwenken durch Stabmechanismus gesperrt</i>
Steigert die Einschränkung die Prozesssicherheit?	ja <i>durch automatische Orientierung für Fügevorgang</i>
Kann die Einschränkung beseitigt werden?	nein
10. Passen Sie das Umfeld dem Manipulatoreinsatz an:	
Frage	Antwort, ggf. zuzüglich Bemerkung oder Lösungsidee
Lassen sich die Materialquellen reduzieren?	nein
Haben die Materialquellen eine Pufferfunktion?	nein
Reicht diese auch für Mehrfachhandhabung aus?	nein
Lassen sich die Materialquellen vereinheitlichen?	ja
Sind alle Materialquellen und Ordnungszustände der Teile (ausreichend) eindeutig definiert?	nein
Können eventuell vorliegende Passungen (siehe 4.) reduziert werden?	ja <i>Schrägen an Bauteilen vorhanden; Greifer axial und lateral kompliant / nachgiebig gestalten</i>
Lassen sich Fügehilfen oder kompliante Systeme installieren?	ja
Ist eine Vergrößerung oder Verkleinerung der Anliefer- oder Abgabebebinde für den Manipulatoreinsatz hilfreich und ggf. wirtschaftlich?	nein
Kann die Erreichung der definierten Endlage durch Fixierungen oder Schablonen unterstützt werden?	nein
Ist eine Feinpositionierung über zusätzliche Achsen vorteilhaft realisierbar?	nein
Ist der Arbeits- und insbesondere der Positionierbereich für den Mitarbeiter / Bediener voll einsehbar?	teilweise <i>Einschränkung durch integriertes Schraubwerkzeug</i>
Ist eine gesteuerte oder sensorische (grobe oder feine) Endpositionserkennung oder -regelung notwendig?	nein
11. Passen Sie den Arbeitsablauf dem Manipulatoreinsatz an:	
Frage	Antwort, ggf. zuzüglich Bemerkung oder Lösungsidee
Ist für den gesamten Arbeitsablauf und insbesondere für die Handhabungstätigkeit ein eindeutiger und nachvollziehbarer Standard definiert?	ja
Sind Abweichungen davon bekannt oder denkbar?	nein
Sind die Abweichungen zeitlich vorteilhaft?	nein
Kann der Manipulator (möglichst) durchgehend ohne (vollständiges) Loslassen genutzt werden?	ja <i>außer zum Auflegen anderer Bauteile</i>
Lässt sich der Manipulator bzw. der Greifer auf Beidhandbetrieb auslegen?	ja
Kann der Manipulator zum Zubringen weiterer (Klein-) Teile genutzt werden?	nein <i>da die Schrauben bereits automatisiert zugeführt werden und sonst keine Teile zum Einsatz kommen</i>
Kann der Manipulator zum Entsorgen genutzt werden?	nein

Abbildung 41: Prüfung beziehungsweise Optimierung des Handhabungshilfsmiteinsatzes mittels Teil 2.1 der Integrations-Checkliste

Eine wesentliche Steigerung des Nutzens der Manipulatorverwendung lässt sich im Fall der Bremsscheibenmontage durch die Integration des Mehrfachschraubwerkzeugs erreichen. Während des entlasteten Zubringens kann der Bediener im Beidhandbetrieb den Schrauber bereits rotatorisch zu den Durchgangsbohrungen vorpositionieren. Für die Feinpositionierung muss die Leichtgängigkeit gewährleistet werden. Unterstützend zu den Einführschrägen an der Bremsscheibenbohrung und der Mitnehmerflanschnabe empfiehlt es sich, eine entsprechende laterale Nachgiebigkeit im Greifer vorzusehen. Bei der Kopplungskonstruktion von Greifer und Schrauber ist darauf zu achten, dass von der Bedienerseite aus die Fügestelle eingesehen werden kann. Alternativ lässt sich der beschriebene Handhabungsvorgang und damit der zusätzliche Nutzen des Manipulatoreinsatzes auch durch einfachere mechanisierte Unterstützungen realisieren (siehe Abbildung 42).

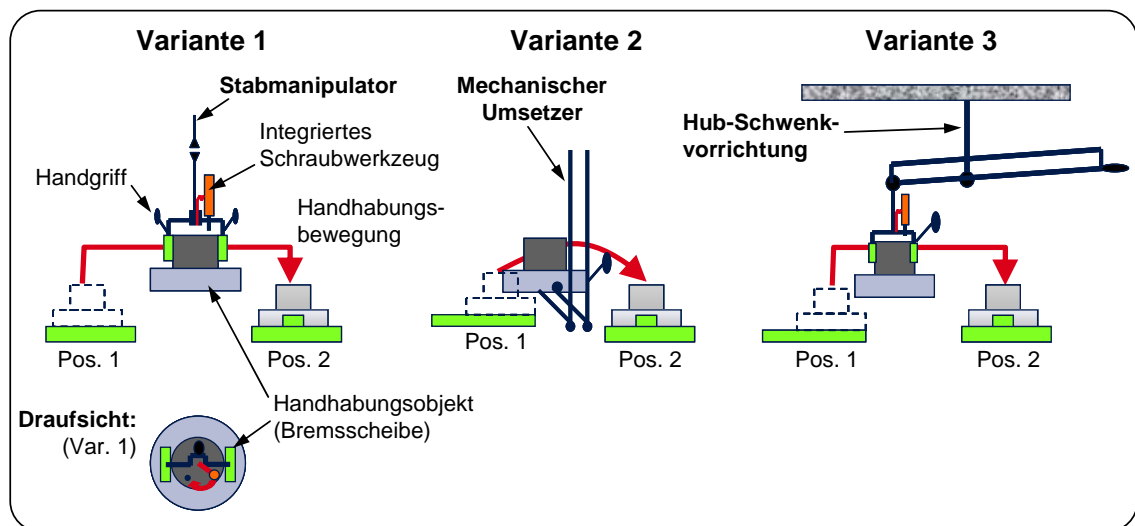


Abbildung 42: Alternative Handhabungshilfsmittelkonzepte für eine integrationsförderliche Bremsscheibenmontage

Mit allen drei Varianten wird die Risikozahl deutlich von 36 auf 24 gesenkt und ist damit auch für den Großteil der leistungsgewandelten Mitarbeiter unkritisch (siehe vollständige Dokumentation mittels Checkliste in Abbildung 68 in Abschnitt 10.7 im Anhang). Die verbleibende Belastung resultiert aus dem anteiligen Auflegen von Bremssätteln auf die Werkstückträger. Falls notwendig, kann diese Tätigkeit aber auch vollständig an anderen Plätzen durchgeführt werden und die Risikozahl (bei Variante 1) auf Null reduziert werden. Für die Variante 1 spricht im Wesentlichen, dass durchweg Standardsysteme verwendet werden können. Nachteilig ist die höhere bewegte Masse, u. a. bei der Feinpositionierung. Gegen Variante 2 spricht die notwendige Anbringung im oder in der Nähe

des Verfahrenswegs der Werkstückträger. Zudem müssen bei Variante 2 und 3 nach wie vor geringe Betätigungskräfte aufgewendet werden, um die Höhendifferenz beim Anheben zu überwinden. Dementsprechend wurde Variante 1 für die Umsetzung ausgewählt. Insgesamt konnte an vier der sieben kritischen Arbeitsplätze durch das in den Abschnitten 5.1 und 6.3.2 erarbeitete und am Beispiel der Bremscheibenmontage vorgestellte Vorgehen mittels entsprechender Manipulatoren die Risikozahl in den unkritischen „grünen“ Bereich gebracht und zugleich ein Zusatznutzen erzielt werden (siehe Abbildung 43).

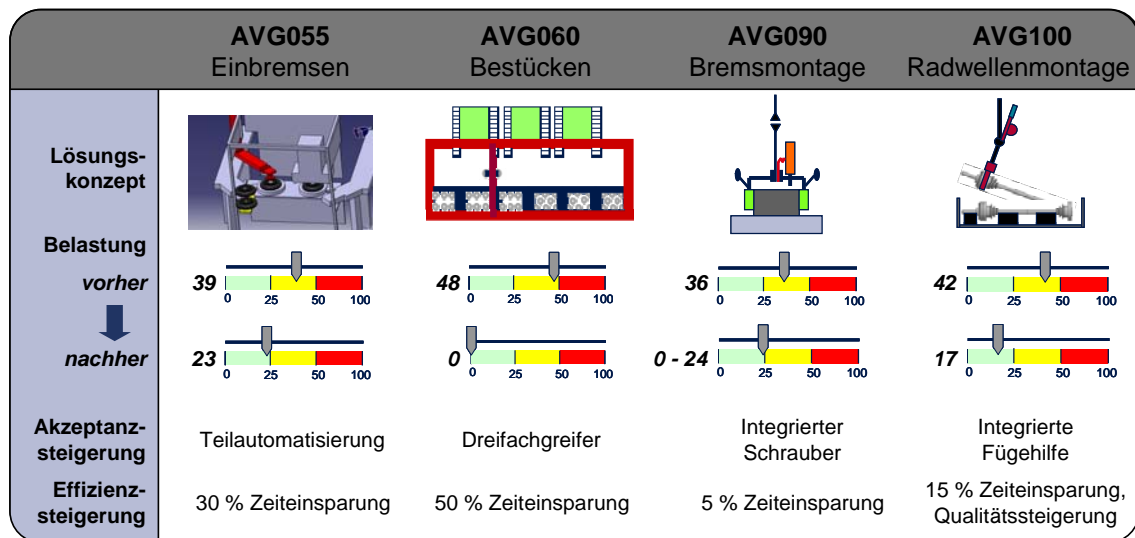


Abbildung 43: Ergebnis des Handhabungshilfsmittleinsatzes im gesamten Montagesystem

Aufgrund der eingeschränkten Platzverhältnisse und der Zugänglichkeiten scheitert der Einsatz manuell geführter Standardmanipulatoren am Einbremsstand (AVG055). Mit einer einfachen automatisierten Hubschwenkvorrichtung reduziert sich hingegen neben der Handhabungsbelastung in ungünstiger Arbeitshöhe gleichzeitig die Staub- und Wärmeexposition für den Mitarbeiter (siehe Belastungsmerkmal Nr. 13 „Klima“ in Abbildung 39). Außerdem entfällt die Wartezeit während des Mitarbeitereingriffs beim Einrichten. Der einheitliche Topfbohrungsdurchmesser, der an diesem Platz durchgehend als Zentrierung genutzt wird, begünstigt eine gesteuerte variantenunabhängige Handhabungsautomatisierung. In Summe stehen der Investition deutlich günstigere Arbeitsbedingungen und die Einsparung einer Person gegenüber. Der verbleibende Werker muss allerdings zukünftig sämtliche Bremscheiben in den Abgabepuffer bewegen, weshalb sich ggf. ein zusätzlicher Manipulator empfiehlt.

Das rückwärtige Bestücken der Einbremsstände (AVG060) stellt einen klassischen Anwendungsfall für Seil- oder Ketten-Balancer dar, aber die Bauteilmassen schreiben diesen nicht zwingend vor. Ein Mitarbeiter legt aus Gitterboxen Bremsscheiben auf Zuführbänder. Gegen eine Vollautomatisierung sprechen neben der geringeren Flexibilität in erster Linie die Bauteilvarianz und die dafür notwendige automatisierungsgerechte Bauteilanlieferung sowie der umfangreiche Änderungsbedarf des gesamten Arbeitsbereiches inklusive der Materialflusstechnik. Mit einem handelsüblichen an einer Laufkatze montierten Balancer und einem speziell konstruierten Mehrfachgreifer kann die Bestückungsleistung deutlich gesteigert werden. Aufgrund der ausreichenden Vorpufferung kann der Mitarbeiter damit zur Hälfte an anderen Arbeitsplätzen eingesetzt werden. Alternativ kann er als Springer aushelfen und andere technisch-strukturelle Integrationsmaßnahmen unterstützen (siehe Abschnitte 7.4 und 7.5).

Das Fügen der Antriebswelle in die Mitnehmerflanschnabe samt verschraubter Bremsscheibe (AVG100) kann ebenso wie die Bremsscheibenmontage durch einen Stabbalancer unterstützt werden. Von besonderer Bedeutung ist an diesem Arbeitsplatz, dass die Welle um 90° aus der platzsparenden waagerechten Bereitstellungslage gedreht werden muss. Der Manipulatoreinsatz reduziert damit neben der aufzubringenden Gewichtskraft auch die extrem ungünstigen Torsionsmomente auf die Hand- und Armgelenke. Durch eine Integration der externen Fügehilfe können die Montagezeit reduziert und Beschädigungen der Lagermanschette vermieden werden.

An den Einstiegsarbeitsplätzen (AVG010 und AVG020) resultieren die ebenfalls kritischen Belastungen beim Heben und Tragen weniger aus der Gewichtskraft (Bauteilmassen < 5 kg), sondern aus der für den One-piece-flow typischen Mehrfachhandhabung: Im ersten Schritt wird das in der Nebenzeit automatisiert gefügte Werkstück entnommen. Im zweiten Schritt wird das neue (unbearbeitete) Werkstück eingelegt. Im dritten Schritt erfolgt der Weitertransport des bearbeiteten Werkstücks zur nächsten Station. Ein neu implementierter einfacher Auswurfmechanismus eliminiert den ersten Schritt und anteilig die Belastung. Eine weitergehende Entlastung mittels Fördersystem erfordert einen grundsätzlichen Umbau der Plätze und wird durch die komplexe Geometrie des Bauteils erheblich erschwert und deshalb nicht empfohlen. Das Montieren der Bremssättel (AVG130) kann gegenwärtig nicht entlastet und auch nicht automatisiert werden. Dementsprechend empfiehlt es sich hier, im Rotationsprinzip gesunde Mitarbeiter einzusetzen.

7.4 Anpassung der Bereitstellung zur Haltungsoptimierung und Integration sitzender Tätigkeiten

Sieben der zehn manuellen Arbeitsvorgänge sind als reine Steh-/Geharbeitsplätze ausgelegt. Entsprechend der Motivation dieses Integrationsprojektes (siehe Abschnitt 7.2) galt es, die kritischen Belastungen durch die Schaffung anteiliger Sitzmöglichkeiten zu eliminieren. Ab einem Sitzanteil von 10 % im Wechsel mit jeweils mindestens 10 % Stehen und 10 % Gehen und beliebiger restlicher Verteilung der Grundhaltungen stellen über die Hälfte der attestierten Einsatzeinschränkungen (zu Merkmal Nr. 10, siehe Abbildung 65 in Abschnitt 10.7 im Anhang) kein Beschäftigungshindernis mehr dar.

An den Taktstraßenarbeitsplätzen geben die Werkstückträger und der Staurollenförderer eine starre einheitliche Arbeitshöhe und -position vor und legen die Zugänglichkeit zum Montageobjekt fest. Mit ihrer Höhe von 970 mm eignen sie sich aber bei Verwendung höhenverstellbarer Stühle und Fußabstützungen grundsätzlich auch für das Sitzen (siehe AVG130). Für größere Mitarbeiter oder beim Zubringen von Kleinteilen wird bereits eine Beugung des Oberkörpers erforderlich (siehe OWAS-Position 2 in Abbildung 44). Die Vormontageplätze (AVG055 und AVG060) sowie die der Taktstraße vorgeschalteten Plätze (AVG010 und AVG020) können aufgrund der Kräfte und Wege bei der Bauteilhandhabung nur stehend beziehungsweise gehend bedient werden. Die Höhe ist durch die Anlagentechnik mit 1.000 mm ebenfalls nicht variabel. Die Lage und Zugänglichkeit zu den bereitgestellten Bauteilen bestimmen großteils (um 200 mm) erhöht abgestellte Gitterboxen (Abmessung: 800 x 1200 x 900 mm³). Vor allem bei leerem Füllstand müssen sich die Mitarbeiter dementsprechend weit (> 30°) beugen und die Arme (ca. 600 mm) ausstrecken, um die letzten Bauteile zu erreichen (siehe OWAS-Position 3 in Abbildung 44).

7.4 Anpassung der Bereitstellung zur Haltungsoptimierung und Integration sitzender Tätigkeiten

1. Skizzieren Sie die vorherrschende(n) Grundhaltung(en) und ggf. temporär auftretende abweichende (Zwangs-)Haltungen (inkl. OWAS-Code):	
Seitensicht:	Weitere Ansichten, 3 D Darstellung oder Fotografie(n):
Markieren Sie insbesondere:	Lage & Zugänglichkeit der Montageobjekte (M1 ... Mi) Lage & Zugänglichkeit der Basis- und Verkettungs- / Weitergabeeinrichtungen (V1 ... Vk) ggf. Lage & Zugänglichkeit von Werkzeugen oder weiterer Hilfsmittel (W1 ... Wl) ggf. Lage & Einsehbarkeit der Informationsbereitstellung ggf. Lage & Zugänglichkeit zu den bereitgestellten Materialien (B1 ... Bj)

Abbildung 44: Ausschnitt aus Teil 2.2 der Integrations-Checkliste zur Auswahl von Maßnahmen zur Haltungunterstützung und -optimierung

Für die Auswahl und Förderung der Haltungsoptimierungs- und -unterstützungsmaßnahmen wurde Teil 2.2 der Integrations-Checkliste verwendet (siehe vollständige Dokumentation wiederum für das Beispiel der Bremscheibenmontage in AVG090 in Abbildung 69, Abbildung 70 und Abbildung 71 in Abschnitt 10.7 im Anhang). Durch den Einsatz des Handhabungshilfsmittels (siehe Abschnitt 7.3) reduzieren sich bei der Bremscheibenmontage die Kräfte so weit, dass das Umsetzen und das Fügen, also ca. 50 % der gesamten Taktzeit, mit einem herkömmlichen höhenverstellbaren Arbeitsstuhl mit Fußabstützung im Sitzen ausgeführt werden können, ohne dass weitere Veränderungen an den Betriebsmitteln oder Abläufen notwendig wären. Durch die Verwendung überfederter Magazine (siehe Abbildung 27, S. 103) für die Zuführung der Schutzbleche kann das Montieren derselben an den Radträger (im Arbeitsgang AVG040) ebenfalls sitzend erfolgen. Die Höhenverstellbarkeit erlaubt auch weiterhin ein stehendes Arbeiten und einen beliebigen Haltungswechselanteil. Die Integration weiterer sitzender Tätigkeiten an den restlichen kritischen Arbeitsplätzen (siehe Abbildung 39) erfordert sowohl eine weitergehende Reduzierung der Fügekräfte als auch eine deutliche Verkleinerung der Anliefergebindegrößen in Verbindung mit einer Vorkommissionierung und lässt sich wirtschaftlich nicht darstellen.

Zur Optimierung der Grundhaltung an Plätzen ohne Handhabungshilfsmittel sollte v. a. für sehr große oder sehr kleine Mitarbeiter die Aufstellung der Gitterboxen generell mittels Hub-Neigegeräten erfolgen (siehe Abbildung 27, S. 103). Diese reduzieren gerade im Vergleich mit den verwendeten waagerechten Podesten die Rumpf- und Kniebeugung erheblich. Wo keine Formnester zur Trennung

der Bauteile verwendet werden, sichern Gummimatten ausreichend vor Verrutschen. Da die Behälter und Verpackungsmaterialien ohnehin mehrfach verwendet werden, sind die Anschaffungskosten zu vernachlässigen. Für die mitzubetrachtende Neuplanung der Anlage ist eine generelle Reduzierung der Gebindegrößen in Verbindung mit Best-Point-Zuführung anzustreben. Potenzial bietet hierfür eine extern umlaufende Materialversorgung mit entsprechenden Rollwägen (siehe Abbildung 28, S. 104). Zusammen mit neu zu konzipierenden höhenverstellbaren und gegebenenfalls neigbaren Werkstückträgern könnten weitere Sitzarbeitsplätze geschaffen werden. Als Optimierungsmaßnahme lässt sich dies nachträglich jedoch nicht realisieren. Theoretisch mehr Potenzial bieten Stopper oder Podeste, welche an ausgewählten Stationen den Werkstückträger fixieren und zugleich anheben oder den Stand des Mitarbeiters erhöhen. Im betrachteten System eignet sich hierfür mit AVG070 nur ein Arbeitsplatz. Die stehende Grundhaltung ist aber zum Aufbringen der Fügekräfte weiterhin nötig.

7.5 Integrationsförderliche weitergehende Systemveränderungen

Die Belastungssituation im betrachteten Montagebereich führt nicht direkt zur Prüfung weitergehender struktureller Maßnahmen gemäß *Gestaltungsvorgabe III* (siehe Teil 1 der ausgefüllten Integrations-Checkliste in Abbildung 66 im Anhang). Für die Gestaltung von Nachfolgeprojekten sollten jedoch auch die Potenziale einer weitergehenden Systemveränderung geprüft werden, zumal zum Merkmal Nr. 17 „Taktbindung“ Einsatzeinschränkungen vorliegen (siehe Abbildung 39 und Teil 2.3 der Integrations-Checkliste in Abbildung 72 in Abschnitt 10.7 im Anhang).

Eine definierte Taktbindung liegt nur innerhalb der Taktstraßen technikbedingt vor. Sowohl zwischen den Vormontageplätzen als auch zu den beiden Taktstraßen hin liegen großzügig dimensionierte Pufferstrecken mit durchgängig deutlich mehr als fünf Minuten Reichweite. Die physische Leistungsanforderung ist, wie in den vorangegangenen Abschnitten dargestellt und aus der Arbeitsplatzbewertung in Abbildung 39 erkennbar, an allen Arbeitsplätzen als relativ hoch einzuschätzen. Abhängig vom Variantenmix der Fahrzeugendmontage muss eine schwankende Leistung erbracht werden. Laufen dort mehrere größere Motorisierungen nacheinander, werden leistungsfähigere und damit schwerere Antriebsaggregate benötigt. Infolgedessen steigen die physischen Belastungen in der be-

trachteten Vormontage. Auf die Sequenzierung besteht keine Einflussmöglichkeit.

Die vom Werker zu verarbeitende Information dient im Wesentlichen der Steuerung der Varianten und betrifft vorwiegend Anweisungen für das Bauteilzubringen. Die Überprüfung erfolgt jeweils in den zwischengeschalteten Automatikstationen. Wird ein falsches Bauteil allerdings erst dort erkannt, treten Störungszeiten auf. Insgesamt ist die Informationsbereitstellung aber als unkritisch zu sehen.

Die Beantwortung der Fragen zu Flexibilisierungsmöglichkeiten in Teil 2.3 der Integrations-Checkliste (siehe Abbildung 73 im Anhang) zeigt für alle Gestaltungsparameter (siehe Abbildung 36 und Abschnitt 5.3), außer für die Informationsbereitstellung, Freiräume auf. So konnte bei der Begehung des Systems beobachtet werden, dass bei voller Systemauslastung die Anzahl der Werkstückträger nicht ausreicht, d. h. dass Lücken vor einzelnen Arbeitsplätzen auftreten. Dies führt zu einem zu unproduktiven Wartezeiten und erhöht zum anderen am nachfolgenden Platz den Leistungsdruck. Dementsprechend sollten weitere Werkstückträger beschafft und eingesetzt werden. Weiterhin können daraus Hinweise für die Optimierung der Austaktung und den Mitarbeiterinsatz gewonnen werden. Zeitliche Spielmasse hierfür bieten die verschiedenen Auflegertätigkeiten (für Bremssättel, Mitnehmerflanschnabe u. a.), die an mehreren Stellen des Bandes durchgeführt werden können. In Kombination mit dem Manipulatoreinsatz bei der Bremsscheibenmontage (in AVG090) und der Haltungsunterstützung bei der Schutzblechmontage (in AVG040) kann damit sogar ein Null-Last-Arbeitsplatz mehr als geplant errichtet werden (siehe Projektzielsetzung in Abschnitt 7.2).

Eine weitere Steigerung der Flexibilität und Dauer der persönlichen Verteilzeiteinteilung bringt der Einsatz eines zusätzlichen Springers. Ein anzustrebender integrationsförderlicher Verteilzeitrahmen von ca. fünf Minuten pro Stunde kann in der Linie mit der bestehenden Personalausstattung sonst nicht erreicht werden. Angesichts der Zeiteinsparungen aus dem Manipulatoreinsatz (siehe Abbildung 43) kann die Funktion aus dem bestehenden Personalpool besetzt werden. Wirtschaftlich sind die Kosten für die zusätzliche Person denen der Weiterbeschäftigung zweier stark leistungsgewandelter Mitarbeiter an den Null-Last-Arbeitsplätzen gegenüberzustellen.

Im Gegensatz zu einer generellen Verkleinerung der Gebindegrößen, wie im vorangegangenen Abschnitt 7.4 gefordert, vermindert eine Auslagerung der Vor-

kommissionierung und Materialbereitstellung unmittelbar die Belastungen beim Zubringen der Teile an den Montagestationen. Entsprechende Zuführungen, beispielsweise über geneigte Rollenbänder, und angepasste Materialversorgungswägen (siehe Abbildung 28) lassen sich auch temporär und kurzfristig realisieren. Eine alternative Just-in-sequence-Belieferung diverser Bauteile würde zumindest die Anzahl der bereitzustellenden Gitterboxen reduzieren. Allerdings steigt dadurch die Störanfälligkeit der Versorgungskette.

Die genannten Maßnahmen erfordern keine Umgestaltung der Systemstruktur. Abschließend sollte jedoch auch geprüft werden, ob mit einer Aufweichung der Systemkonzeption weitere Integrationspotenziale zu erschließen sind. Die Freiheitsgrade in der Montagereihenfolge bezüglich Abfolgeänderung oder Zergliederung von Vorgängen und Inhalten sind stark eingeschränkt. Zum einen ist der gesamte Montageprozess, wie eingangs erwähnt, bereits weitestgehend in kleinstmögliche Zeiteinheiten zerlegt. Zum anderen definieren die bestehenden Automatikstationen spätestens nach zwei manuellen Arbeitsplätzen entsprechende Fixpunkte (siehe Abbildung 38). Hier bietet sich genau die Zusammenfassung jeweils zweier benachbarter Arbeitsplätze an, um den Arbeitsinhalt zu erweitern und zugleich die Verteilzeitflexibilität zu steigern. Ein solches Konzept für die Integration und Duplizierung für die Arbeitsvorgänge AVG090 und AVG100 ist in Abbildung 45 dargestellt.

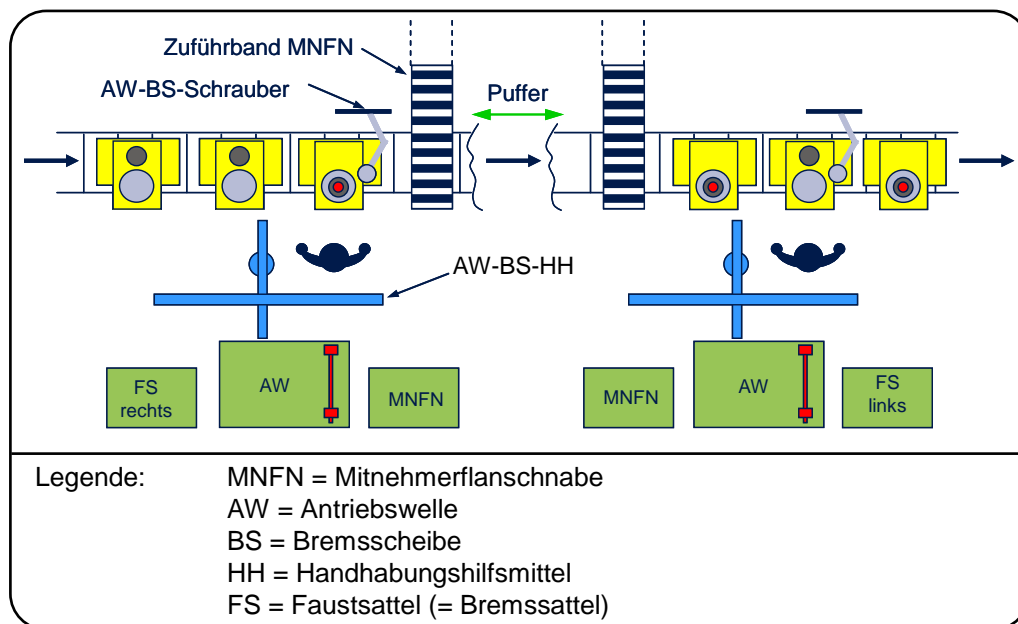


Abbildung 45: Konzept zur Zusammenfassung und anschließenden Duplizierung der Arbeitsvorgänge AVG090 und AVG100 des Praxisbeispiels

Sowohl für die Bremsscheiben- als auch für die Antriebswellenmontage wird in Abschnitt 7.3 der Einsatz von Standardhandhabungshilfsmitteln empfohlen. Durch eine entsprechend geschickte Greiferkonstruktion lassen sich mit einem solchen Manipulator abwechselnd beide Bauteile handhaben. Der Schrauber ist in diesem Fall nicht integriert, sondern ebenfalls universell sowohl für die Montage der Bremsscheibe als auch für die des Antriebswellenadapters zu verwenden. Durch den Hilfsmiteileinsatz können das Umsetzen und das Verschrauben der Bremsscheibe weiterhin sitzend erfolgen und zur Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter genutzt werden. Damit kommt eine Parallelisierung eines solchen erweiterten Arbeitsvorgangs ohne zusätzliche Betriebsmittel aus. Eine definierte Zuteilung von linker und rechter Baugruppe erlaubt weiterhin eine eindeutige Materialanlieferung der benötigten Bauteile. Lediglich die Weitergabesteuerung des Staurollenförderers muss angepasst werden, damit stets ein voller und ein leerer Werkstückträger für den zweiten Platz zusammen weitertransportiert werden. Selbst wenn nur für die Antriebswelle oder für die Bremsscheibe ein Handhabungshilfsmittel verwendet werden würde, reicht der Effekt aufgrund der Taktzeitverdopplung durch die Duplizierung aus, um die Risikozahl in den unkritischen „grünen“ Bereich zu bringen. Um eine ausreichende Pufferreichweite zwischen den Plätzen zu schaffen, müssten diese weiter auseinander positioniert werden, was mit den Standardprofilaufbauten einfach zu bewerkstelligen ist. Innerhalb der Taktstraßen bieten sich keine weiteren Zusammenfassungen an. Die Arbeitsvorgänge AVG010 und AVG020 am Beginn der Linie werden bereits von einem Mitarbeiter bedient. Zwischen den Arbeitsvorgängen AVG040 und AVG070 müssen die eingelaufenen und vormontierten Bremsscheiben zur vormontierten Radträgerbaugruppe zugeführt werden. Im Vormontagebereich würden sich weitere Arbeitsvorgänge zusammenfassen lassen, indem die um 180° gedrehten Einlaufstände frontal bestückt werden und der Puffer vor den Taktstraßen anschließend automatisiert angebunden wird. Dazu müssten allerdings das gesamte Anlagenkonzept und die Fördertechnik verändert werden.

7.6 Bewertung der Integrationslösungen für die Radträgermontage und Verallgemeinerung

Mit dem vorgestellten Vorgehen konnte die Ergonomie der betrachteten Arbeitsplätze weiter optimiert und die Anzahl der kritischen Belastungen minimiert werden (siehe Arbeitsplatzbewertung des optimierten Systems in Abbildung 46). Die Einsatzhemmnisse für die leistungsgewandelten Mitarbeiter im gesamten

Werkbereich wurden gegenüber der Ausgangssituation (siehe Abbildung 39) deutlich reduziert (siehe Abbildung 46). Je nach konkret vorliegenden Einsatz einschränkungen und Einschränkungskombinationen können nach der Optimierung für fast alle Arbeitsvorgänge (mit Ausnahme AVG010 und AVG020) auch Leistungsgewandelte eingesetzt werden.

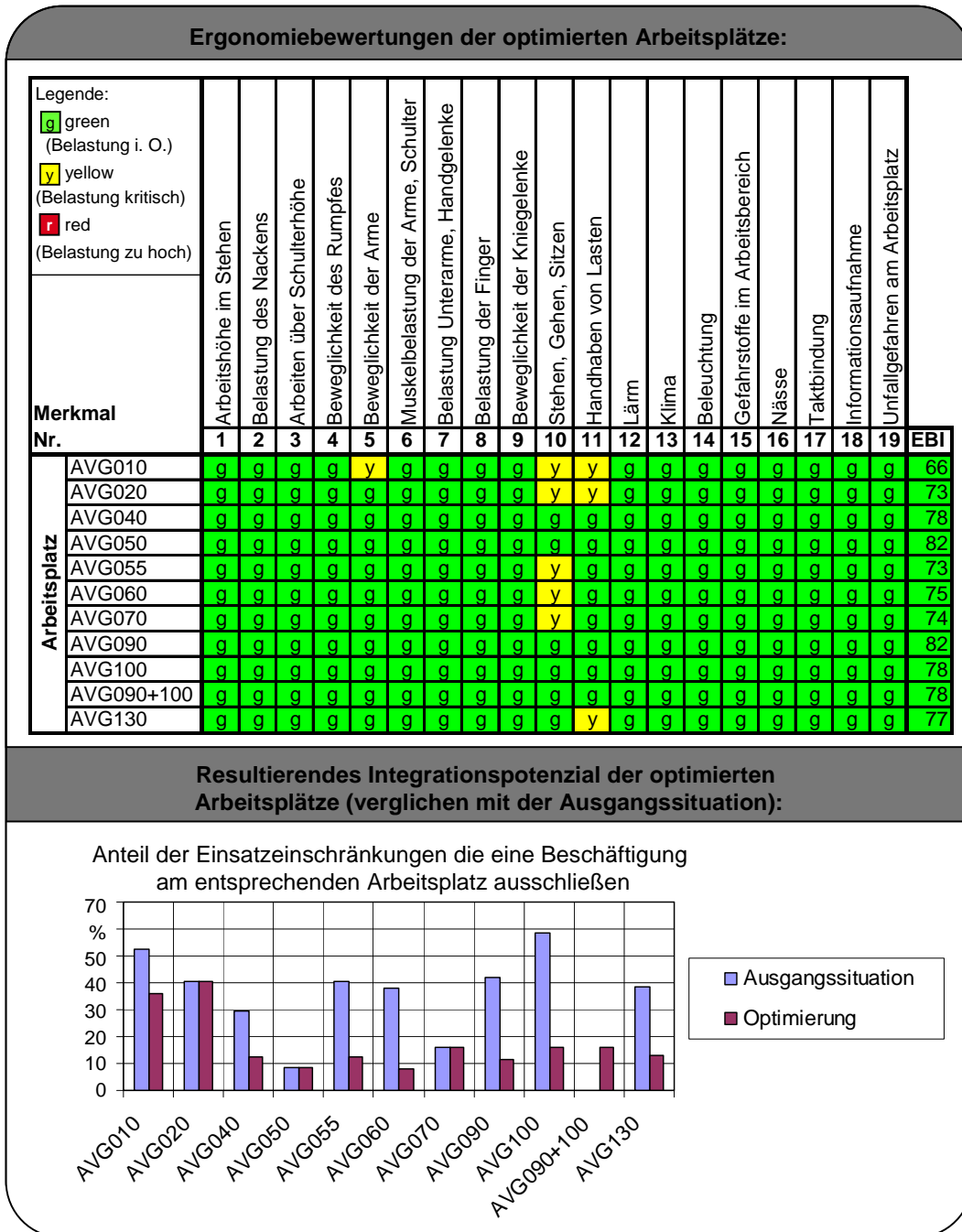


Abbildung 46: Ergonomiebewertung der optimierten Arbeitsplätze des Praxisbeispiels und resultierende zusätzliche Beschäftigungsmöglichkeit für leistungsgewandelte Mitarbeiter

Vor allem durch den Manipulatoreinsatz lässt sich zudem die Effizienz steigern. Je nach konkreter Auswahl der Optimierungsmaßnahmen lässt sich je Linie an AVG090 ein zusätzlicher Null-Last-Arbeitsplatz einrichten. Für das Einfügen der Bremsscheibe und der Radwelle an den benachbarten Vorgängen AVG090 und AVG100 wurden die verschiedenen Optimierungsoptionen mittels einer Nutzwert-Kosten-Analyse verglichen (siehe Abbildung 47). Neben den Projektzielen (Reduzierung kritischer Belastungen, Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter und Einrichtung von Null-Last-Arbeitsplätzen; siehe Abschnitt 7.2) wurden mit geringerer Gewichtung auch die Kriterien Flexibilität (Personaleinsatz, spätere technische Veränderbarkeit usw.), Eignung für die Materialbereitstellung sowie der Flächenbedarf mitbewertet (siehe Abbildung 76 in Abschnitt 10.7 im Anhang). Demgegenüber stehen die jährlichen Betriebskostenveränderungen als Saldo der auf drei Jahre umgelegten Investitionskosten und der Arbeitszeiteinsparung der verschiedenen Maßnahmen (siehe Abbildung 77 im Anhang).

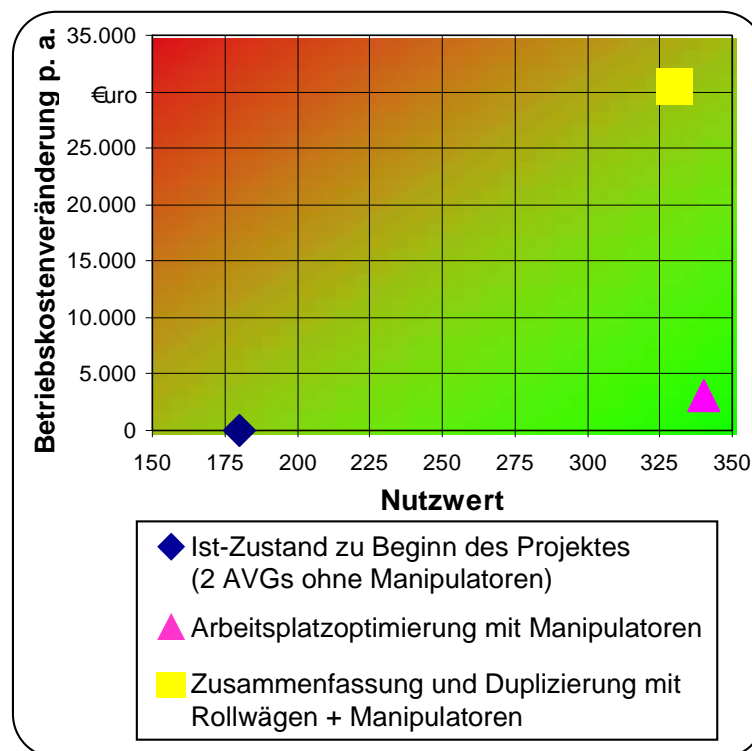


Abbildung 47: Ergebnis der Nutzwert-Kosten-Analyse der technisch-strukturellen Optimierungs- und Integrationsmaßnahmen des Praxisbeispiels

Im dargestellten Fall stehen der Ergonomiesteigerung durch die Taktzeitverdoppelung deutlich höhere Kosten gegenüber. Zudem entfällt bei der Option „Zusammenfassung und Duplizierung“ der Null-Last-Arbeitsplatz. Das Konzept versteht

sich in erster Linie als Anregung für die Planung und Gestaltung neuer Montagesysteme. Für die Verallgemeinerung des vorgestellten Anwendungsbeispiels aus der Automobilindustrie sind

- die Wirksamkeit der vorgeschlagenen weitergehenden technisch-strukturellen Integrationsmaßnahmen,
- der Nutzen der Methodik sowie
- letztlich der Nutzen der Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter selbst

jeweils separat näher zu betrachten. Mit den in Kapitel 5 entwickelten Lösungen lassen sich über das bekannte Maß hinaus die Einschränkungen Leistungsgewandelter an wirtschaftlich gestalteten Arbeitsplätzen innerhalb verschiedener Montageorganisationsformen auch nachträglich und/oder temporär besser kompensieren. Hervorzuheben sind hierbei der Einsatz von Handhabungshilfsmitteln bereits bei geringeren Gewichtskräften sowie die Integration vor allem sitzender Tätigkeiten und die haltungsoptimierte Materialbereitstellung. Die Umsetzung insbesondere weitergehender struktureller Maßnahmen weist eine Reihe von Querverbindungen auf. Die verschiedenen Lösungen beeinflussen sich gegenseitig stark und bieten unterschiedlich geartete teils konkurrierende Integrationsmöglichkeiten. Dementsprechend wichtig ist die differenzierte Darstellung des Ergonomie- und Integrationspotenzials sowie der resultierenden Kosten. Aufgrund der branchenunabhängigen Ähnlichkeit sowohl der Anforderungen als auch der Restriktionen verschiedener Montageorganisationsformen (siehe Abschnitt 4.2) weisen die erarbeiteten Lösungen für die Radträgermontage keine spezifisch dem Anwendungsbeispiel zuzuordnenden Merkmalsausprägungen der Automobilindustrie auf.

Die in Kapitel 6 vorgestellte Vorgehensweise fördert die Erarbeitung eines breitgefächerten Lösungsspektrums und dennoch zielgerichteter Integrationsmaßnahmen. Ähnlich wie bei der Anwendung standardisierter Arbeitsplatzbewertungsverfahren (siehe Abschnitt 3.5.2) lassen sich die Integrations-Checklisten ohne aufwändige Vorkenntnisse oder Schulungs- und Qualifikationsmaßnahmen von verschiedenen Nutzern verwenden, zum Beispiel auch von den Montageteams und deren Vorgesetzten selbst. Der Betrachtungsgegenstand für eine gezielte Integration sollte nicht zu umfangreich gewählt werden. Ideal ist eine Beschränkung auf einen unabhängigen Montagebereich beziehungsweise sehr stark entkoppelten (Zuführungs-)Linienabschnitt mit drei bis fünf manuellen Arbeitsplätzen. Die reine Erfassungs- und Prüfungszeit beträgt zusätzlich zu je einer

Stunde pro Arbeitsplatz für die Ergonomiebewertung in etwa zwei weitere Stunden. Damit lässt sich ein derartiges Projekt ideal in einem eintägigen Teambuilding-Workshop mit zwei Begehungen vor Ort von den Mitarbeitern und (Integrations-)Verantwortlichen (inkl. Leistungsgewandelten) konzeptionell bearbeiten. Nach erfolgter Datenaufbereitung sollte ein kurzes Nachtreffen einberufen werden, um die Realisierung gemeinsam abzustimmen. Für Neuplanungen gilt es in erster Linie eine entsprechende Wissens- und Erfahrungsbasis zu schaffen. Einem erhöhten Zeitaufwand für die erstmalige Anwendung der Methodik stehen dann Zeiteinsparungen und Lerneffekte bei weiteren Planungsprojekten gegenüber.

Der Nutzen der Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter selbst lässt sich nicht für jede einzelne Maßnahme ermitteln, sondern muss in Summe mit unproduktiven Ausfallzeiten und entsprechenden Lohnfortzahlungen gesehen werden. Wird die Integration jedoch gleichzeitig als Treiber für eine effizienzorientierte Ergonomiesteigerung und eine kontinuierliche Verbesserung verstanden, ist langfristig auch ein entsprechendes wirtschaftliches Potenzial darin zu sehen. Im Anwendungsbeispiel können die Zusatzaufwendungen (ohne die Planungszeiten) nahezu vollständig durch die Zeiteinsparungen finanziert werden (mit Ausnahme der weitergehenden strukturellen Lösungen).

8 Zusammenfassung und Ausblick

Der Demografische Wandel und in der Folge davon alternde Belegschaften beeinflussen die Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands und anderer Industrienationen vor allem im Bereich der Produktion. Besonders betroffen davon ist die wieder zunehmend durch manuelle Tätigkeiten gekennzeichnete variantenreiche Serienmontage. Ältere und vor allem leistungsgewandelte Mitarbeiter können die erhöhten Wirtschaftlichkeitsanforderungen vielfach nicht mehr oder nur mehr eingeschränkt erfüllen. Ausgehend von den Grundlagen einer wirtschaftlichen Montagesystemgestaltung greift die vorliegende Arbeit bestehende Ansätze zur Prävention von Leistungsbeeinträchtigungen sowie zur organisatorischen Integration leistungsgewandelter Personen auf. Bereits gegenwärtig und in zunehmendem Maß in den kommenden Jahren des demografischen Übergangs reichen diese Maßnahmen nicht mehr aus, um alle älteren Arbeiter bestehender Belegschaften dauerhaft wertschöpfend zu beschäftigen.

Die vorliegende Arbeit entwickelt erstmals auf Basis eines unternehmensunabhängigen Vergleichs von Anforderungen und Beeinträchtigungen klar priorisierte Gestaltungsvorgaben für die Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter in die variantenreiche Serienmontage. Die dafür entwickelten technisch-strukturellen Maßnahmen nutzen und ergänzen die bestehenden Lösungsansätze, ohne jedoch eine generelle Abkehr von den wirtschaftlichsten Organisationsformen und -strukturen zu fordern, wie bisher vielfach üblich. Mitunter konkurrieren aber verschiedene Empfehlungen je nach Integrationsfall. Daher ist es wichtig, dass sich die Lösungen auch nachträglich und gegebenenfalls temporär-reversibel einsetzen lassen. Zusammen mit dem vorgeschlagenen betrieblichen Umsetzungsvorgehen ermöglichen sie eine weitergehende Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter entsprechend des system- oder unternehmensspezifischen Handlungsbedarfs. Das beschriebene Anwendungsbeispiel belegt die Wirksamkeit der Maßnahmen und die Effektivität der Methode. Zudem konnte gezeigt werden, dass sich ergonomische Optimierungen und auch spezifische Integrationsmaßnahmen mit Effizienzsteigerungen verbinden lassen.

Eine Umkehr des Trends von der Alters-Pyramide zur Alters-Säule mit einem annähernd gleich hohen Anteil Älterer wie Jüngerer in der Bevölkerung und in Unternehmen ist in Industrieländern nicht absehbar oder zu erwarten. Vielmehr wird diese Entwicklung zukünftig auch derzeitige Schwellenländer treffen. Dementsprechend wichtig ist es, schnell implementierbare Lösungen für gegenwärtige

Produktionsstrukturen zu entwickeln, bis eine neue alter(n)sgerechte Arbeitswelt zusammen mit dem medizinischen Fortschritt das Auftreten von Leistungswandlungen weitgehend eliminiert. Die Wirtschaftlichkeit technisch-struktureller Maßnahmen ist dabei stets im gesamten Unternehmenskontext zu sehen. Den Investitionen oder sogar erhöhten Betriebskosten ist die (abfindungsfreie) wertschöpfende Weiterbeschäftigung leistungsgewandelter Mitarbeiter gegenüberzustellen. Darüber hinaus können die Maßnahmen zur technologischen Weiterentwicklung von Montage- und Produktionsprozessen genutzt werden. Die im Rahmen der Arbeit entwickelten Integrations-Checklisten unterstützen den Abwägungsprozess und fördern kreative Lösungen.

Die industriellen Arbeitsbedingungen in Deutschland gehören fraglos zu den besten der Welt, und der Nutzen des Informationsrückflusses aus einer lokalen Produktion ist allgemein anerkannt (vgl. SPATH U. A. 2004). Angesichts der Globalisierung sollte die Frage gestellt werden, wie sich daraus zusätzliches wirtschaftliches Potenzial generieren lässt, beispielsweise durch den Export von Ingenieursdienstleistungen für eine ergonomische und alter(n)sgerechte Produktionstechnik. Weiterhin sollte die Verknüpfung der Prozesstechnologie mit der Produktentwicklung, in Richtung einer weitergehenden montage- und integrationsförderlichen Baugruppen- und Bauteilstrukturierung, näher beleuchtet werden. Unterstützend voranzutreiben sind integrationsförderliche Entlohnungs- und Anreizsysteme. Der Handlungsbedarf ist vielfältig: Schnelles und konkretes Handeln im Detail ist wettbewerbsbedingt kurz- und mittelfristig unerlässlich. Langfristig sollte eine Abkehr vom reaktiven Vorgehen, hin zu innovativen Entwicklungen mit und für ältere Arbeitnehmer angestrebt werden.

9 Literaturverzeichnis

ADAMI U. A. 2008

Adami, W.; Lang, C.; Pfeiffer, S.; Rehberg, F. (Hrsg.): Montage braucht Erfahrung – Erfahrungsbasierte Wissensarbeit in der Montage. München: Rainer Hampp 2008.

ADENAUER 2002

Adenauer, S.: Die Potenziale älterer Mitarbeiter im Betrieb erkennen und nutzen. angewandte Arbeitswissenschaft (2002) 172, S. 19-34.

ADENAUER 2004

Adenauer, S.: Die (Re-)Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter in den Arbeitsprozess. Das Projekt FILM bei Ford Köln. angewandte Arbeitswissenschaft (2004) 181, S. 1-18.

ANDREASEN & AHM 1988

Andreasen, M. M.; Ahm, T.: Flexible Assembly Systems. Berlin: Springer 1988.

ARBEITSKREIS ERGONOMIE 2002

Arbeitskreis Ergonomie: Leitfaden zur Anforderungs- und Belastbarkeits-Analyse. Version 3.0 Stand 11/02. München: BMW Group 2002.

ARBEITSUNFÄHIGKEITS-RICHTLINIEN 2004

Bundesministerium für Gesundheit und Soziale Sicherung (Hrsg.): Bekanntmachung des Bundesausschusses der Ärzte und Krankenkassen über die Beurteilung der Arbeitsunfähigkeit und die Maßnahmen zur Wiedereingliederung (Arbeitsunfähigkeits-Richtlinien). § 92 Abs. 1 Satz 2 Nr. 7 SGB V. Köln: Bundesanzeiger 29.03.2004.

Literaturverzeichnis

ARBSCHG 1996

Bundesministerium für Arbeit und Soziales (Hrsg.): Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz - ArbSchG). BGB II. Köln: Bundesanzeiger 07.08.1996.

BALTES U. A. 1994

Baltes, P. B.; Mittelstraß, J.; Staudinger, U. M. (Hrsg.): Alter und Altern: Ein interdisziplinärer Studententext zur Gerontologie. Berlin: de Gruyter 1994.

BARBEY U. A. 1992

Barbey, J.; Feige, M.; Kahmeyer, M.; Willy, A.: Technikgestaltung in der flexibel automatisierten Serienmontage. Düsseldorf: VDI-Verlag 1992. (Fortschritt-Berichte VDI 2/262)

BEIER 1994

Beier, W.: Zur Frage der Gesetzmäßigkeit des Alterns. Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie 27 (1994) 3, S. 160-164.

BELWAL & HAIGHT 2005

Belwal, U.; Haight, J. M.: Designing for an Aging Workforce. In: Fisher, T. F. (Hrsg.): Proceedings of the 2005 ASSE Professional Development Conference. New Orleans, LA, USA: 2005, Session Nr. 505.

BIERMANN & WEIßMANTEL 1995

Weißmantel, H.; Biermann, H.: Seniorengerechtes Konstruieren SENSI. Das Design seniorengerechter Geräte. Düsseldorf: VDI-Verlag 1995. (Fortschritt-Berichte VDI 1/247)

BOOTHROYD U. A. 2002

Boothroyd, G.; Dewhurst, P.; Knight, W.: Product Design for Manufacture and Assembly. 2. Aufl. New York, NY, USA: Dekker 2002.

BÖS & STORK 2006

Bös, G.; Stork, J.: Vereinbarung "Zukunft Audi" – Der Audi Checkup. In: Brossardt, B. (Hrsg.): 1. Kongress Personalmanagement. Alternde Belegschaften – Herausforderungen für Unternehmen. Nürnberg: BayME VBM 2006.

BOSCHREXROTH 2004

Boschrexroth: Mehr Ergonomie. Handarbeitsplätze – Ergonomisch gestaltete Arbeitsplätze und Transfersysteme sind wahre Produktivitätsbeschleuniger. AUTOMATION 21 (2004) 4, S. 22-24.

BREUN 2006

Breun, F.: Flexibel, vernetzt, verantwortungsvoll – Anforderungen an eine Automobilproduktion von morgen. In: Hoffmann, H.; Reinhart, G.; Zäh, M. F. (Hrsg.): Münchener Kolloquium 2006. Zukunft Voraus – Denken für den Standort Deutschland. München: Utz 2006, S. 23-37.

BUBB & SCHMIDTKE 1993

Bubb, H.; Schmidtke, H.: Systemergonomie - Systemstruktur. In: Schmidtke, H. (Hrsg.): Ergonomie. 3. Aufl. München: Hanser 1993, S. 305-333.

BUCK 1996

Buck, H.: Qualifikations- und lernförderliche Gruppenarbeit in der Montage. In: Bullinger, H. J.; Enderlein, H. (Hrsg.): Betriebliche Folgen veränderter Altersstrukturen in der Montage. Chemnitz: 1996, S. 128-156. (Wissenschaftliche Schriftenreihe des Instituts für Betriebswissenschaften und Fabrikssysteme 7)

BUCK 2004

Buck, H.: Alternde Belegschaften – Ableitung betrieblicher Handlungsstrategien. In: Schletz, A. (Hrsg.): Die demografische Zeitbombe tickt (Konferenzband). Berlin: 2004.

BUCK U. A. 1996

Buck, H.; Hermann, S.; Reif, A.: Betriebliche Folgen veränderter Altersstrukturen in der Montage. In: Warnecke, H. J. (Hrsg.): Die Montage im flexiblen Produktionsbetrieb. Technik, Organisation, Betriebswirtschaft. Berlin: Springer 1996, S. 396-427.

BUCK U. A. 2002

Buck, H.; Kistler, E.; Mendius, H. G.: Demographischer Wandel in der Arbeitswelt. Chancen für eine innovative Arbeitsgestaltung. Stuttgart: IRB-Verlag 2002. (Demographie und Erwerbsarbeit)

BUCK & DWORSCHAK 2003

Buck, H.; Dworschak, B. (Hrsg.): Ageing and Work in Europe. Stuttgart: IRB-Verlag 2003. (Demography and Employment)

BUCK & REIF 1997

Buck, H.; Reif, A.: Innovative Produktion bei veränderten Altersstrukturen. In: Klose, H. U. (Hrsg.): Perspektiven der alternden Arbeitsgesellschaft. forum demographie und politik (1997) 9, S. 159-181.

BUCK & SCHLETZ 2004

Buck, H.; Schletz, A.: Ergebnisse des Transferprojektes Demotrans. Stuttgart: IRB-Verlag 2004. (Demographie und Erwerbsarbeit)

BULLINGER 1986

Bullinger, H. J. (Hrsg.): Systematische Montageplanung. Handbuch für die Praxis. München: Hanser 1986.

BULLINGER U. A. 1992

Bullinger, H. J.; Volkholz, V.; Betzl, K.; Köchling, A.; Risch, W. (Hrsg.): Alter und Erwerbsarbeit der Zukunft. Arbeit und Technik bei veränderten Alters- und Belegschaftsstrukturen. Berlin: Springer 1992.

BULLINGER U. A. 1997

Bullinger, H. J.; Rally, P.; Schipfer, J.: Some aspects of ergonomics in assembly planning. *International Journal of Industrial Ergonomics* 20 (1997) 5, S. 389-397.

BULLINGER & WARSCHAT 1996

Bullinger, H. J.; Warschat, J.: *Concurrent Simultaneous Engineering*. Berlin: Springer 1996.

CHOW 1990

Chow, W. M.: *Assembly line design: Methodology and applications*. New York, NY, USA: Marcel Dekker 1990.

CICRED 2009

Guilmoto, C. Z. (Red.): *Committee for International Cooperation in National Research in Demography. Cooperation in Demography*. <<http://www.cicred.org>> (10.05.2009).

C.I.R.P. 2004

C.I.R.P. (Hrsg.): *Wörterbuch der Fertigungstechnik III. Produktionssysteme*. Berlin: Springer 2004.

CONTI U. A. 2006

Conti, R.; Angelis, J.; Cooper, C.; Faragher, B.; Gill, C.: The effects of lean production on worker job stress. *International Journal of Operations & Production Management* 26 (2006) 9, S. 1013-1038.

CRAIK & SALTHOUSE 2000

Craik, F. I. M.; Salthouse, T. A. (Hrsg.): *The Handbook of Aging and Cognition*. 2. Aufl. Mahwah, NY, USA: Erlbaum 2000.

CREUTZBURG 2006

Creutzburg, D.: Keine Entspannung am Arbeitsmarkt. *Handelsblatt* 61 (2006) 146, *Wirtschaft & Politik* S. 3.

DANNER & SCHRÖDER 1994

Danner, D. B.; Schröder, H. C.: Biologie des Alterns (Ontogenese und Evolution). In: Baltes, P. B.; Mittelstraß, J.; Staudinger, U. M. (Hrsg.): Alter und Altern: Ein interdisziplinärer Studientext zur Gerontologie. Berlin: de Gruyter 1994, S. 95-123.

DDN 2009

Schulz, K. H.; Schmitt, B. (Red.): ddn. Das Demographie Netzwerk. <<http://www.demographie-netzwerk.de>> (10.05.2009).

DEBITZ 2005

Debitz, U.: Die Gestaltung von Merkmalen des Arbeitssystems und ihre Auswirkung auf Beanspruchungsprozesse. Hamburg: Kovac 2005. (Schriften zur Arbeits-, Betriebs- und Organisationspsychologie 16)

DELCHAMBRE U. A. 2002

Delchambre, A.; De Lit, P.; Rekiek, B.: Hybrid assembly line design and user's preferences. International Journal of Production Research 40 (2002) 5, S. 1096-1111.

DEMOTRANS 2009

Buck, H.; Dworschak, B.; Schletz, A.; Neubauer, G. (Red.): Öffentlichkeits- und Marketingstrategie demographischer Wandel. <<http://www.demotrans.de>> (10.05.2009).

DIN 8580 (2003)

DIN 8580: Fertigungsverfahren. Begriffe, Einteilung. Berlin: Beuth 2003.

DIN 8593-0 (1985)

DIN 8593-0: Fertigungsverfahren Fügen. Teil 0: Allgemeines, Einordnung, Unterteilung, Begriffe. Berlin: Beuth 1985.

DIN 19 226-1 (1994)

DIN 19226-1: Regelungstechnik und Steuerungstechnik. Teil 1: Allgemeine Grundbegriffe. Berlin: Beuth 1994.

DIN 33 402-1 (1978)

DIN 33 402-1: Körpermaße des Menschen. Teil 1: Begriffe, Meßverfahren. Berlin: Beuth 1978.

DIN 33 402-2 (2005)

DIN 33 402-2: Körpermaße des Menschen. Teil 2: Werte. Berlin: Beuth 2005.

DIN 33 406 (1988)

DIN 33 406: Arbeitsplatzmaße im Produktionsbereich. Begriffe, Arbeitsplatztypen, Arbeitsplatzmaße. Berlin: Beuth 1988.

DIN 33 411-1 (1982)

DIN 33 411-1: Körperkräfte des Menschen. Teil 1: Begriffe, Zusammenhänge, Bestimmungsgrößen. Berlin: Beuth 1982.

DIN 33 411-5 (1999)

DIN 33 411-5: Körperkräfte des Menschen. Teil 5: Maximale statische Aktionskräfte, Werte. Berlin: Beuth 1999.

DIN EN ISO 8373 (1994)

DIN EN ISO 8373: Industrieroboter. Wörterbuch. Berlin: Beuth 1994.

DIN EN ISO 12100 (2004)

DIN EN ISO 12100: Sicherheit von Maschinen - Grundbegriffe, allgemeine Gestaltungsleitsätze. Berlin: Beuth 2004.

DOMBROWSKI U. A. 2006

Dombrowski, U.; Hennersdorf, S.; Palluck, M.: Fabrikplanung unter den Rahmenbedingungen Ganzheitlicher Produktionssysteme. wt Werkstattstechnik online 96 (2006) 4, S. 156-161.

DOMBROWSKI U. A. 2008

Dombrowski, U.; Zahn, T.; Schulze, S.: Alternde Belegschaften – Bereits heute für morgen planen. ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 103 (2008) 5, S. 290-294.

DRIES 2004

Dries, J.: Ergonomie im Glaskasten. Mit Handlingsgeräten ins rechte Licht gerückt. *Handling* 32 (2004) 8/9, S. 90-91.

DÜRRSCHMIDT 2001

Dürschmidt, S.: Planung und Betrieb wandlungsfähiger Logistiksysteme in der variantenreichen Serienproduktion. München: Utz 2001. (*iwb* Forschungsberichte 152)

EHNERT U. A. 2004

Ehnert, J.; Fieseler, H.; Germer, B.: Abschlussbericht zum Projekt „Modellversuch zur Optimierung von Maßnahmen des Arbeits- und Gesundheitsschutzes und ihre Integration in den Arbeitsprozess“. Magdeburg/Berlin: Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit 2004.

EHRENSPIEL 2007

Ehrlenspiel, K.: Integrierte Produktentwicklung. Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit. 3. Aufl. München: Hanser 2007.

ENGEL 2002

Hiltensperger, S (Hrsg.): Konzept zur Ermittlung psychischer Fehlbelastungen am Arbeitsplatz und zu Möglichkeiten der Prävention. Potsdam: Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik 2002. (LASI-Veröffentlichungen LV 28)

ENGELSTÄDTER & KRAFT 1998

Engelstädter, H.; Kraft, H.: Mit Deferred Compensation die Versorgungslücke schließen. *Personal* 26 (1998) 11, S. 555-558.

EVERSHEIM 1989

Eversheim, W.: Organisation in der Produktionstechnik. Band 4: Fertigung und Montage. Düsseldorf: VDI-Verlag 1989. (Studium und Praxis)

EVERSHEIM & SCHUH 1996

Eversheim, W.; Schuh, G.: Betriebshütte. Produktion und Management. Teil 1 und 2. 7. Aufl. Berlin: Springer 1996.

FELDMANN 1997

Feldmann, C.: Eine Methode für die integrierte Rechnergestützte Montageplanung. Berlin: Springer 1997. (*iwb* Forschungsberichte 104)

FELDMANN U. A. 2004

Feldmann, K.; Gergs, H. J.; Slama, S.; Wirth, U. (Hrsg.): Montage strategisch ausrichten – Praxisbeispiele marktorientierter Prozesse und Strukturen (MAMOS). Berlin: Springer 2004.

FERGUSON U. A. 2004

Ferguson, S. A.; Marras, W. S.; Burr, D.: Workplace design guidelines for asymptomatic vs. low-back-injured workers. *Applied Ergonomics* 36 (2004) 1, S. 85-89.

FICHTMÜLLER 1996

Fichtmüller, N.: Rationalisierung durch flexible, hybride Montagesysteme. Berlin: Springer 1996. (*iwb* Forschungsberichte 95)

FIT4AGE 2008

Gerhäuser, H.; Ulrich, R. (Red.): Bayerischer Forschungsverbund Fit-ForAge. Zukunftsorientierte Produkte und Dienstleistungen für die demographischen Herausforderungen. <<http://www.fit4age.org>> (22.12.2008).

FREIBOTH U. A. 1997

Freiboth, M.; Frieling, E.; Henniges, D.; Saager, C.: Comparison of different organisations of assembly work in the European automotive industry. *International Journal of Industrial Ergonomics* 20 (1997) 5, S. 357-370.

Literaturverzeichnis

FRIEDRICH 1986

Friedrich, W.: Massnahmen zur altersadäquaten Anpassung der Arbeitsbedingungen. Arbeitsplatzgestaltung für leistungsgewandelte und behinderte ältere Arbeitnehmer. Oldenburg: 1986. (Dissertation Universität Oldenburg)

FRIELING 2006

Frieling, E.: DFG Schwerpunktprogramm 1184: Altersdifferenzierte Arbeitssysteme. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft 42 (2006) 1, S. 71-80.

FRIELING 2007

Frieling, E.: Altersgerechte Montage in der Automobilindustrie. In: Pieper, R. (Hrsg.): 37. Sicherheitswissenschaftliches Kolloquium. Wuppertal: suqr 2007.

GALER 1987

Galer, I. A. R.: Applied ergonomics handbook. 2. Aufl. London: Butterworths 2005.

GOETTSCH 2007

Goetsch, N.: Unigraphics Solutions GmbH: Technomatix - eM-Human.
<http://www.ugsplm.de/produkte/tecnomatix/human_performance/em_human.shtml> (18.04.2007).

GOTTSCHALK 2006

Gottschalk, S. F.: Dedicated Flexibility. Komplexitätsoptimale Gestaltung manueller Serienmontage. Aachen: Shaker 2006. (Berichte aus der Produktionstechnik 22/2006)

GROBE & DÖMING 2005

Grobe, T.; Döming, H.: Gesundheitsreport. Auswertungen 2005 zu Trends bei Arbeitsunfähigkeiten und Arzneiverordnungen der Techniker Krankenkasse. Hamburg: Techniker Krankenkasse 2005. (Veröffentlichungen zum Betrieblichen Gesundheitsmanagement der TK 8)

GROBE & DÖMING 2009

Grobe, T.; Döming, H.: Gesundheitsreport. Auswertungen 2009. Teil 1: Arbeitsunfähigkeiten. Hamburg: Techniker Krankenkasse 2009. (Veröffentlichungen zum Betrieblichen Gesundheitsmanagement der TK 8)

GRUNWALD 2002

Grunwald, S.: Methode zur Anwendung der flexiblen integrierten Produktentwicklung und Montageplanung. München: Utz 2002. (*iwb* Forschungsberichte 159)

GUSSONE U. A. 1999

Gussone, M.; Huber, A.; Morschhäuser, M.; Petrenz, J.: Ältere Arbeitnehmer. Altern und Erwerbsarbeit in rechtlicher, arbeits- und sozialwissenschaftlicher Sicht. Frankfurt a. M.: Bund 1999. (Handbücher für die Unternehmenspraxis)

GUTENBERG 1990

Gutenberg, E.: Einführung in die Betriebswirtschaftslehre. 1. Aufl. unveränderter Nachdruck. Wiesbaden: Gabler 1990.

HABERFELLNER U. A. 1992

Haberfellner, R.; Daenzer, W. F.; Huber, F. (Hrsg.): Systems Engineering. Methodik und Praxis. 7. Aufl. Zürich, Schweiz: Industrielle Organisation 1992.

HACKER 2005

Hacker, W.: Allgemeine Arbeitspsychologie. Psychische Regulation von Wissens-, Denk- und körperlicher Arbeit. 2. Aufl. Bern, Schweiz: Huber 2005. (Schriften zur Arbeitspsychologie 58)

HACKER U. A. 2005

Hacker, W.; Looks, P.; Jahn, F.: Leistungsfähig bis zur Rente. Personalwirtschaft 32 (2005) 6, S. 16-18.

Literaturverzeichnis

HAINKE 1995

Hainke, H.: Präventive Strategien des Arbeitsschutzes für leistungsgewandelte ältere Arbeitnehmer. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW 1995. (Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz - Forschungsanwendung 32)

HÄRTWIG 2005

Härtwig, J. P.: Verfahren und Systeme zur Demontage komplexer technischer Gebrauchsgüter. Berlin: IRB-Verlag 2005. (Bericht aus dem Produktionstechnischen Zentrum Berlin)

HAUSOTTER 2001

Hausotter, H.: Differenzierte mitarbeiterbezogene Gestaltungsansätze für Arbeitsorganisationen am Beispiel eines mittelständischen Metallunternehmens. Düsseldorf: VDI-Verlag 2001. (Fortschritt-Berichte VDI 16/123)

HECHL 1994

Hechl, Ch.: Personalorientierte Montageplanung für komplexe und variantenreiche Produkte. Berlin: Springer 1994. (*iwb* Forschungsberichte 92)

HEGNER 2002

Hegner, F.: Überalterung, Innovation und Qualifizierung: Drei Zwickmühlen für die Personalentwicklung. *Personal* 30 (2002) 1, S. 772-777.

HELL U. A. 1985

Hell, W.; Kern, U.; Weertz, K.: Projektträger "Humanisierung des Arbeitslebens". Integration überwiegend körperlich behinderter in einem Industriebetrieb. Band 3: Leifaden zur präventiven und korrektiven Arbeitsplatzgestaltung. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW 1985. (Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz - Forschungsberichte 430)

HENKEL 2006

Henkel, R. C.: Gesundheitlich beeinträchtigt und doch ein Arbeitsplatz. VDI nachrichten 60 (2006) 34, S. 17.

HERNÁNDEZ 2003

Hernández-Morales, R.: Systematik der Wandlungsfähigkeit in der Fabrikplanung. Düsseldorf: VDI-Verlag 2003. (Fortschritt-Berichte VDI 16/149)

HERRMANN 2008

Herrmann, N.: Erfolgspotenzial ältere Mitarbeiter. Den demografischen Wandel souverän meistern. München: Hanser 2008.

HEß 2004

Heß, D.: Senioren gesucht. Schluss mit dem Jugendwahn. Spiegel online <<http://www.spiegel.de/wirtschaft/0,1518,304268,00.html>> (17.06.2004).

HESSE 2002

Hesse, S.: Automatisieren mit Know-How. Handhabung, Robotik, Montage. Darmstadt: Hoppenstedt Zeitschriften 2002.

HESSE U. A. 2001

Hesse, S.; Schmidt, H.; Schmidt, U.: Manipulatorpraxis. Manuell geführte Handhabungssysteme. Wiesbaden: Vieweg 2001.

HESSE & SCHMIDT 1998

Hesse, S.; Schmidt, H.: Rationalisieren mit Balancern und Hubeinheiten. Renningen: expert 1998.

HETTINGER U. A. 1980

Hettinger, T.; Kaminsky, G.; Schmale, H.: Ergonomie am Arbeitsplatz - Daten zur menschengerechten Gestaltung der Arbeit. 2. Aufl. Ludwigshafen: Kiehl 1980.

HEYDE U. A. 2009

Heyde, K.; Macco, K.; Vetter, C.: Krankheitsbedingte Fehlzeiten in der deutschen Wirtschaft im Jahr 2007. In: Badura, B.; Schröder.; Vetter, C. (Hrsg.): Fehlzeiten-Report 2008. Betriebliches Gesundheitsmanagement: Kosten und Nutzen. Zahlen, Daten, Analysen aus allen Branchen der Wirtschaft. Berlin: Springer 2009, S. 205-436.

HILTENSBERGER U. A. 2006A

Hiltensperger, S.; Hellbach, R.; Richenhagen, G.; Rötzer, M.; Wachkamp, M.: Arbeitsschutzmanagementsysteme. Spezifikation zur freiwilligen Einführung, Anwendung und Weiterentwicklung von Arbeitsschutzmanagementsystemen. 3. Aufl. Potsdam: Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik 2006. (LASI-Veröffentlichungen LV 21)

HILTENSBERGER U. A. 2006B

Hiltensperger, S.; Brückner, B.; Hellbach, R.; Richenhagen, G.; Sikora, S.: Arbeitsschutzmanagementsysteme. Handlungsanleitung zur freiwilligen Einführung und Anwendung von Arbeitsschutzmanagementsystemen. Handlungsanleitung zur freiwilligen Einführung und Anwendung von Arbeitsschutzmanagementsystemen für kleine und mittlere Unternehmen. 2. Aufl. Potsdam: Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik 2006. (LASI-Veröffentlichungen LV 22)

HOFFMANN U. A. 2006

Hoffmann, H.; Reinhart, G.; Zäh, M. F. (Hrsg.): Münchener Kolloquium 2006. Zukunft Voraus – Denken für den Standort Deutschland. München: Utz 2006.

HÖPFLINGER 1997

Höpflinger, F.: Bevölkerungssoziologie: Eine Einführung in bevölkerungssoziologische Ansätze und demographische Prozesse. München: Juventa 1997.

HUBER 2002

Huber, A.: Strategien zur altersgerechten Gestaltung von Gruppenarbeit - Gesundheitsförderung und Qualifizierung. Stuttgart: IRB-Verlag 2002. (Demographie und Erwerbsarbeit)

ILMARINEN 2001

Ilmarinen, J.: Ageing Workers in Finland and in the European Union: Their Situation and the Promotion of their Working Ability, Employability and Employment. The Geneva Papers on Risk and Insurance Theory 26 (2001) 4, S. 623-641.

ILMARINEN & TEMPEL 2002

Ilmarinen, J.; Tempel, J.: Arbeitsfähigkeit 2010. Was können wir tun, damit Sie gesund bleiben? Hamburg: VSA 2002.

ILMARINEN & TEMPEL 2003

Ilmarinen, J.; Tempel, J.: Erhaltung, Förderung und Entwicklung der Arbeitsfähigkeit – Konzepte und Forschungsergebnisse aus Finnland. In: Badura, B.; Schellenschmidt, H.; Vetter, C. (Hrsg.): Fehlzeiten-Report 2002. Demographischer Wandel: Herausforderung für die betriebliche Personal- und Gesundheitspolitik. Zahlen, Daten, Analysen aus allen Branchen der Wirtschaft. Berlin: Springer 2003, S. 85-100.

INQA 2009

Sedlatschek, C. (Red.): Initiative Neue Qualität der Arbeit. <<http://www.inqa.de>> (10.05.2009).

KAMMÜLLER 2006

Kammüller, M.: Synchroner Produktion im Werkzeugmaschinenbau. In: Hoffmann, H.; Reinhart, G.; Zäh, M. F. (Hrsg.): Münchener Kolloquium 2006. Zukunft Voraus – Denken für den Standort Deutschland. München: Utz 2006, S. 103-109.

KIRCHNER U. A. 2005

Kirchner, S.; Winkler, R.; Westkämper, E.: Unternehmensstudie zur Wandlungsfähigkeit von Unternehmen. wt Werkstattstechnik online 93 (2003) 4, S. 254-260.

KNÜLLE 2005

Knülle, E.: (Dis-) Ability Management. In: Zäh, M. F. (Hrsg.): 19. Deutscher Montagekongress. Zukunftsperspektive: Montagestandort Deutschland! München. Landsberg: moderne industrie 2005.

KNÜPFER 2009A

Knüpfper, G.: Fabrik des Jahres: Der Produktionstreff diskutierte in Stuttgart über Wege aus der Krise. Mehr Cash ist für Sieger der Königsweg. Produktion 48 (2009) 14, S. 1-2.

KNÜPFER 2009B

Knüpfper, G.: Firmen ignorieren Demografie-Wandel. Produktion 48 (2009) 20, S. 11.

KOETHER U. A. 2001

Koether, R.; Kurz, B.; Seidel, U. A.; Weber, F.: Betriebsstättenplanung und Ergonomie. Planung von Arbeitssystemen. München: Hanser 2001.

KÖLLNER 2005

Köllner, A.: Arbeit in einer alternden Gesellschaft. Internetquellen auf nationaler, internationaler und transnationaler Ebene. <<http://www.gesis.org/SocioGuide/Spezialthemen/aag/index.htm>> (01.06.2005).

KONOLD & REGER 2003

Konold, P.; Reger, H.: Praxis der Montagetechnik. Produktdesign, Planung, Systemgestaltung. Wiesbaden: Vieweg 2003.

KOPSKE & HOMANN 2006

Kopske, J.; Homann, K.: Ausschreibung über die Förderung von Modellvorhaben zur Bekämpfung arbeitsbedingter Erkrankungen. <<http://www.bmas.bund.de/BMAS/Navigation/Arbeitsmarkt/Foerderung/aeltere,did=140352.html>> (06.06.2006).

KROEMER 1997

Kroemer, K. H. E.: Ergonomic Design of Material Handling Systems. Boca Raton, FL, USA: Lewis 1997.

KRÜGER 2004

Krüger, A.: Planung und Kapazitätsabstimmung stückzahlflexibler Montagesysteme. München: Utz 2004. (*iwb* Forschungsberichte 186)

KÜSGENS U. A. 2003

Küsgens, I.; Rossiyskaya, N.; Vetter, C.: Krankheitsbedingte Fehlzeiten in der deutschen Wirtschaft. In: Badura, B.; Schellenschmidt, H.; Vetter, C. (Hrsg.): Fehlzeiten-Report 2002. Demographischer Wandel: Herausforderung für die betriebliche Personal- und Gesundheitspolitik. Zahlen, Daten, Analysen aus allen Branchen der Wirtschaft. Berlin: Springer 2003, S. 277-490.

LANDAU 2002

Landau, K.: Ergonomie und Wirtschaftlichkeit - „rechnet“ sich die Arbeitsgestaltung? angewandte Arbeitswissenschaft (2002) 172, S. 49-67.

LANDAU U. A. 2001

Landau, K.; Wimmer, R.; Luczak, H.; Mainzer, H. P.; Winter, G.: Anforderungen an Montagearbeitsplätze. In: Landau, K.; Luczak, H. (Hrsg.): Ergonomie und Organisation in der Montage. München: Hanser 2001.

LANDAU U. A. 2008

Landau, K.; Rademacher, H.; Meschke, H.; Winter, G.; Schaub, K.; Grasmueck, M.; Moelbert, I.; Sommer, M.; Schulze, J.: Musculoskeletal disorders in assembly jobs in the automotive industry with special reference to age management aspects. International Journal of Industrial Ergonomics 38 (2008) 7-8, S. 561-567.

Literaturverzeichnis

LANDAU & LUCZAK 2001

Landau, K.; Luczak, H. (Hrsg.): Ergonomie und Organisation in der Montage. München: Hanser 2001.

LAY & SCHIRRMEISTER 2000

Lay, G.; Schirrmeister, E.: Sackgasse Hochautomatisierung? Praxis des Abbaus von Overengineering in der Produktion. Mitteilungen aus der Produktionsinnovationserhebung 22 (2000) 5.

LEGLER & GEHRKE 2005

Legler, H.; Gehrke, B.: Zur technologischen Leistungsfähigkeit Deutschlands 2005. Bonn/Berlin: Bundesministerium für Bildung und Forschung 2005.

LINDEMANN 1997

Lindemann, U. (Hrsg.): SFB 336 - Montageautomatisierung durch Integration von Konstruktion und Planung. München: 1997.

LINDEMANN U. A. 2006

Lindemann, U.; Reichwald, R; Zäh, M. F. (Hrsg.): Individualisierte Produkte – Komplexität beherrschen in Entwicklung und Produktion. Berlin: Springer 2006.

LINK 2002

Link, W. (Hrsg.): Schlussbericht der Enquête-Kommission “Demografischer Wandel – Herausforderungen unserer älter werdenden Gesellschaft an den Einzelnen und die Politik”. Berlin: Bundesdruckerei 2002. (Drucksache 14/8800)

LIXENFELD 2006

Lixenfeld, C.: Wer Alte abschiebt, sieht alt aus. Handelsblatt 61 (2006) 10, Karriere & Management S. 2.

LOEBE & SEVERING 2005

Loebe, H.; Severing, E. (Hrsg.): Wettbewerbsfähigkeit mit alternden Belegschaften. Betriebliche Bildung und Beschäftigung im Zeichen des demografischen Wandels. Bielefeld: Bertelsmann 2005. (Wirtschaft und Weiterbildung 34)

LOTTER 1989

Lotter, B.: Manufacturing Assembly Handbook. London, Großbritannien: Butterworths 1989.

LOTTER 2004

Lotter, E.: Rationalisierungspotenzial der manuellen Kleingerätemontage. In: Zäh, M. F. (Hrsg.): 18. Deutscher Montagekongress. Fundamentale Kostensenkung – auch in der Montage. München. Landsberg: moderne industrie 2004.

LOTTER U. A. 1998

Lotter, B.; Hartel, M.; Menges, R.: Manuelle Montage – wirtschaftlich gestalten. Neuzeitliche Analysen und Planungsmethoden zur Montagerationalisierung. Renningen-Malmsheim: expert 1998. (Kontakt & Studium 560)

LUCZAK 1992

Luczak, H.: Arbeitswissenschaft. 2. Aufl. Berlin: Springer 1992.

MAGIN 2004

Magin, J.: Betriebliches Eingliederungsmanagement nach dem SGB IX. Projekt Integrationsteam LGW des BMW-Werks Regensburg. Abschlussbericht der wissenschaftlichen Begleitstudie. Regensburg: Integrationsamt der Regierung der Oberpfalz 2004.

MARKUCIK 2008

Markucik, E.: Vom Gesundheitsmanagement zur mitarbeitergerechten Planung und Gestaltung von Arbeitsplätzen und Arbeitsstrukturen. In: Zäh, M. F.; Reinhart, G. (Hrsg.): 21. Deutscher Montagekongress. Konzentration auf Wertschöpfung – eine ganzheitliche Aufgabe. München. Landsberg: moderne industrie 2008.

MARTIN 2004

Martin, J. P.: OECD-Beschäftigungsausblick 2004. Zusammenfassung in Deutsch. In: Martin, J. P.: OECD Employment Outlook: 2004 Edition. Washington, DC, USA: Brookings Institution Press 2004.

MATT 2003

Matt, D.: Planung autonomer, wandlungsfähiger Produktionsmodule. ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 97 (2002) 4, S. 173-176.

MENTGEN 2006

Mentgen, A.: Standort Deutschland. Und die Industrie baut doch auf Deutschland. Produktion 45 (2006) 11, S. 1-2.

MERTGEN 2009

Mertgen, F.: Die Krise und die Demografie. Produktion 48 (2009) 17, S. 2.

MILBERG 1996

Milberg, J.: Montieren wo die Märkte sind. In: Reinhart, G. (Hrsg.): 13. Deutscher Montagekongress. Die Montage im internationalen Wettbewerb. München. Landsberg: moderne industrie 1996.

MILBERG 2000

Milberg, J.: Unternehmenspolitik im Wandel. In: Reinhart, G.; Hoffman, H. (Hrsg.): Münchener Kolloquim 2000. ... nur der Wandel bleibt. München: Utz 2000, S. 312-331.

MOHRLANG 2005

Mohrlang, M.: Integration gesundheitlich eingeschränkter Mitarbeiter in die wertschöpfenden Arbeitsprozesse. In: Schuh, G. (Hrsg.): 2. Fachtagung: Kostenfaktor Mensch in der Produktion. Nürtingen. Landsberg: moderne industrie 2005.

MOLLENKOPF U. A. 2000

Mollenkopf, H.; Meyer, S.; Schulze, E.; Wurm, S.; Friesdorf, W.: Technik im Haushalt zur Unterstützung einer selbstbestimmten Lebensführung im Alter. Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie 33 (2000) 3, S. 155-168.

NOF U. A. 1997

Nof, S. Y.; Wilhelm, W., E.; Warnecke, H. J.: Industrial Assembly. London, Großbritannien: Chapman & Hall 1997.

NYHUIS 2005

Nyhuis, P.; Mühlenbruch, H.; Heins, M.: Altersgerechte Qualifizierung für die Montage. wt Werkstattstechnik online 94 (2004) 9, S. 426-432.

NYHUIS U. A. 2004

Nyhuis, P.; Mühlenbruch, H.; Heins, M.: Altersgerechte Qualifizierung für die Montage. wt Werkstattstechnik online 94 (2004) 9, S. 426-432.

NYHUIS U. A. 2008

Nyhuis, P.; Nickel, R.; Tullius, K.: Globales Varianten Produktionssystem (GVP). Hannover: PZH 2008.

OWEN 1984

Owen, T.: Flexible Assembly Systems. New York, NY, USA: Plenum Press 1984.

PACK U. A. 2000

Pack, J.; Buck, H.; Kistler, E.; Mendius, H. G.; Morschhäuser, M.; Wolff, H.: Zukunftsreport demografischer Wandel. Innovationsfähigkeit in einer alternden Gesellschaft. Köln/Bonn: ON! Kommunikation & Neue Medien 2000.

PACK & BUCK 1992

Pack, J.; Buck, H.: Arbeitssystemgestaltung in der Serienmontage. Bestandsaufnahme und Gestaltungsmöglichkeiten. Düsseldorf: VDI-Verlag 1992. (Fortschritt-Berichte VDI 2/261)

PEEREBOOM 1993

Peereboom, K. J.: A Strategy for using the OVAKO working posture analyzing system (OWAS) to determine the physical load of actions. In: Marras, W. S.; Karwowski, W.; Smith, J. L., Pacholski, L. (Hrsg.): The Ergonomics of Manual Work. London, Großbritannien: Taylor & Francis 1993, S. 245-248.

PERNACK U. A. 2001

Pernack, E. F.; Jürgens, W. W.; Mohr, D.; Pangert, R.; Schultz, K.; Steinberg, U.: Handlungsanleitung zur Beurteilung der Arbeitsbedingungen beim Heben und Tragen von Lasten. 4. Aufl. Potsdam: Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik 2001. (LASI-Veröffentlichungen LV 9)

PERNACK U. A. 2002

Pernack, E. F.; Jürgens, W. W.; Mohr, D.; Pangert, R.; Schultz, K.; Steinberg, U.: Handlungsanleitung zur Beurteilung der Arbeitsbedingungen beim Ziehen und Schieben von Lasten. Potsdam: Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik 2002. (LASI-Veröffentlichungen LV 29)

PILLER 1998

Piller, F. T.: Kundenindividuelle Massenproduktion. Die Wettbewerbsstrategie der Zukunft. München: Hanser 1998.

PINE 1993

Pine, B. J.: Mass Customization – The New Frontier in Business Competition. Boston, MA, USA: Harvard Business School Press 1993.

PRASCH 2004

Prasch, M.: Neue Chance für die Montage in Deutschland durch zunehmende Variantenvielfalt in der Kleingerätemontage. *iwb newsletter* 12 (2004) 1, S. 1-2.

PRASCH & KRAUB 2008

Prasch, M. G.; Krauß, E.: future factory. In: Spath, D. (Hrsg.): Wirtschaftlich montieren im Hochlohnland. Kundenindividuelle Auftragsabwicklung. Modellfabrikforum. Stuttgart: IAO 2008.

RALLY 1996

Rally, P.: Planung der Arbeitsorganisation in flexiblen Montagesystemen. In: Warnecke, H. J. (Hrsg.): Die Montage im flexiblen Produktionsbetrieb. Technik, Organisation, Betriebswirtschaft. Berlin: Springer 1996, S. 345-366.

RATHGEB 2005

Rathgeb, I.; Madunkanya, V.; Mahlau, V.: Aufgabenstellung: Ältere Mitarbeiter. *Personalwirtschaft* 32 (2005) 12, S. 45-47.

REFA 1984

REFA - Verband für Arbeitsstudium und Betriebsorganisation (Hrsg.): Methodenlehre des Arbeitsstudiums. Band 1 und 2. München: Hanser 1984.

REFA 1985

REFA - Verband für Arbeitsstudium und Betriebsorganisation (Hrsg.): Methodenlehre der Betriebsorganisation. Kostenrechnung, Arbeitsgestaltung. München: Hanser 1985.

REFA 1990

REFA - Verband für Arbeitsstudium und Betriebsorganisation (Hrsg.): Methodenlehre der Betriebsorganisation. Planung und Betrieb komplexer Produktionssysteme. München: Hanser 1990.

REFA 1991

REFA - Verband für Arbeitsstudium und Betriebsorganisation (Hrsg.): Methodenlehre der Betriebsorganisation. Anforderungsermittlung (Arbeitsbewertung). München: Hanser 1991.

REFA 1997

REFA - Verband für Arbeitsstudium und Betriebsorganisation (Hrsg.): Methodenlehre der Betriebsorganisation. Datenermittlung. München: Hanser 1997.

REIF & BUCK 2003

Reif, A.; Buck, H. (Hrsg.): Innovationsfähigkeit in der Montage bei sich verändernden betrieblichen Altersstrukturen. Stuttgart: IRB-Verlag 2003.

REINHART 1997

Reinhart, G.: Innovative Prozesse und Systeme – Der Weg zu Flexibilität und Wandlungsfähigkeit. In: Reinhart, G.; Milberg, M. (Hrsg.): Münchener Kolloquium 1997. Mit Schwung zum Aufschwung. Landsberg: moderne industrie 1997, S. 173-202.

REINHART U. A. 1996

Reinhart, G.; Dürrschmidt, S.; Kirschberg, A.; Selke, C.: Reaktionsfähigkeit für Unternehmen. Eine Antwort auf turbulente Märkte. ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 94 (1999) 1/2, S. 21-24.

REINHART U. A. 2003

Reinhart, G.; Prasch, M. G.; Krüger, A.: Stückzahl- und Variantenflexible Montage – Eine ganzheitliche Aufgabe. In: Wiendahl, H. P. (Hrsg.): Die wandlungsfähige Fabrik. Hannover: IFA 2003, S. 183-215.

REINHART U. A. 2006

Reinhart, G.; Prasch, M. G.; Loy, M.; Schur, S.: Ergonomie und Effizienz durch Manipulatoren. Kriterien zum Handhabungshilfsmiteleinsetz in der Serienmontage bei geringen und mittleren Gewichten. wt Werkstattstechnik online 96 (2006) 9, S. 569-574.

REINHART U. A. 2007

Reinhart, G.; Tekouno, W.; Rösel, W.; Wiesbeck, M.; Vogel, W.: Robotergestützte kognitive Montagesysteme – Montagesysteme der Zukunft. wt Werkstattstechnik online 97 (2007) 9, S. 689-693.

REINHART U. A. 2008

Reinhart, G.; Thiemann, C.; Spillner, R.; Schilp, J.: Demographische Herausforderungen in der Montage. wt Werkstattstechnik online 98 (2008) 9, S. 689-693.

REINHART & SCHNEIDER 1996

Reinhart, G.; Schneider, B.: Montage. In: Kern, W.; Schröder, H. H.; Weber, J. (Hrsg.): Enzyklopädie der Betriebswirtschaftslehre VII. Handwörterbuch der Produktionswirtschaft. 2. Aufl. Stuttgart: Poeschel 1996, S. 1236-1248.

REINHART & SPATH 2008

Reinhart, G.; Spath, D. (Hrsg.): Auftragsprozesse in der kundenintegrierten Montage. Stuttgart: Fraunhofer IRB 2008.

REINHART & ZÄH 2005

Reinhart, G.; Zäh, M. F. (Hrsg.): Marktchance Individualisierung. Berlin: Springer 2003.

REINHART & ZÄH 2006

Reinhart, G.; Zäh, M. F.: Reaktionsschnelle Montage variantenreicher Produkte - ein Wettbewerbsvorteil. wt Werkstattstechnik online 96 (2006) 9, S. 568.

RINZA & SCHMITZ 1993

Rinza, P.; Schmitz, H.: Nutzwert-Kosten-Analyse. Eine Entscheidungshilfe. 2. Aufl. Düsseldorf: VDI-Verlag 1993. (Betriebswirtschaft und Praxis)

RKW 1970

Forschungsprojekt des Rationalisierungs-Kuratoriums der Deutschen Wirtschaft (RKW) e. V. (Hrsg.): Sieben Berichte (Kurzfassung der Ergebnisse). 2. Aufl. Frankfurt a. M.: Europäische Verlagsanstalt 1970. (Wirtschaftliche und soziale Aspekte des technischen Wandels in der Bundesrepublik Deutschland 1)

ROHMERT 1980

Rohmert, W.: Taschenbuch der Arbeitsgestaltung. Grundlagen und Anwendung arbeitswissenschaftlicher Erkenntnisse. 3. Aufl. Köln: Bachem 1980.

ROHMERT U. A. 1971

Rohmert, W.; Rutenfranz, J.; Ulich, E.: Das Anlernen sensumotorischer Fertigkeiten. Frankfurt a. M.: Europäische Verlagsanstalt 1971. (Wirtschaftliche und soziale Aspekte des technischen Wandels in der Bundesrepublik Deutschland 7)

ROßGODERER 2002

Roßgoderer, U.: System zur effizienten Layout- und Prozessplanung von hybriden Montageanlagen. München: Utz 2002. (*iwb* Forschungsberichte 168)

ROTHKIRCH 2000

Rothkirch, C. (Hrsg.): Altern und Arbeit: Herausforderungen für Wirtschaft und Gesellschaft. Beiträge, Diskussionen und Ergebnisse eines Kongresses mit internationaler Beteiligung. Berlin: Sigma 2000.

SCHARIOTH U. A. 2004

Scharioth, J.; Huber, M.; Schulz, K.; Pallas, M.: Horizons2020. Ein Szenario als Denkanstoß für die Zukunft. München: TNS Infratest 2004.

SCHIRRMEISTER U. A. 2003

Schirrmeister, E; Warnke, P; Dreher, C.: Untersuchung über die Zukunft der Produktion in Deutschland. Sekundäranalyse von Vorschau-Studien für den europäischen Vergleich. Deutscher Anteil des Eureka-Factory-Projekts Informan 2000+ Abschlussbericht. Karlsruhe: Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung 2003.

SCHMIDTKE 1993A

Schmidtke, H. (Hrsg.): Ergonomie. 3. Aufl. München: Hanser 1993.

SCHMIDTKE 1993B

Schmidtke, H.: Der Leistungsbegriff in der Ergonomie. In: Schmidtke, H. (Hrsg.): Ergonomie. 3. Aufl. München: Hanser 1993, S. 110-116.

SCHMIDTKE 1993C

Schmidtke, H.: Metnale Beanspruchung durch informatorische Belastung. In: Schmidtke, H. (Hrsg.): Ergonomie. 3. Aufl. München: Hanser 1993, S. 143-160.

SCHMIDTKE & BUBB 1993

Schmidtke, H.; Bubb, H.: Das Belastungs-Beanspruchungs-Konzept. In: Schmidtke, H. (Hrsg.): Ergonomie. 3. Aufl. München: Hanser 1993, S. 116-120.

SCHMIDTKE & RÜHMANN 1992

Schmidtke, H.; Rühmann, H. (Hrsg.): Körperkräfte des Menschen. Perzentilierung isometrischer Maximalkräfte sowie Ausdauer und Beanspruchung bei konzentrischer und exzentrischer Muskelarbeit. Köln: Schmidt 1992. (Dokumentation Arbeitswissenschaft 31)

SCHMIDTKE & RÜHMANN 1999

Schmidtke, H.; Rühmann, H.: Motorische Leistungen. In: Schmidtke, H.; Bullinger, H. J.; Jürgens, H. W.; Rohmert, W. (Hrsg.): Handbuch der Ergonomie. Band 1 - 5. 2. Aufl. Koblenz: Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung 1999.

SCHMITZ-SCHERZER U. A. 1994

Schmitz-Scherzer, R.; Backes, G.; Friedrich, I.; Karl., F.; Kruse, A.: Ressourcen älterer und alter Menschen. Expertise im Auftrag des Bundesministeriums für Familie und Senioren. Stuttgart: Kohlhammer 1994. (Schriftenreihe des Bundesministeriums für Familie, Senioren, Frauen und Jugend 44)

SCHOTT 1997

Schott, H.: Strukturelle Anpassung der Montage an den Markt. In: Reinhart, G.; Milberg, J. (Hrsg.): Innovative Montagesysteme. Anlagengestaltung, -bewertung und -überwachung. 2. Aufl. München: Utz 1997. (*iwb* Seminarberichte 1)

SCHRADER U. A. 1995

Schrader, K.; Meyer-Falcke, A.; Munker, H.: Einsatz leistungsgewandelter Mitarbeiter. Berlin/Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW 1995. (Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsmedizin - Sonder-schrift10)

SCHRAFT U. A. 2004

Schraft, R. D.; Helms, E.; Hans, M.; Thiemermann, S.: Man-Machine-Interaction and Co-Operation for Mobile and Assisting Robots. In: ***: Proceedings of EIS 2004. Madeira: 2004, S. ***.

SCHRAUB U. A. 2009

Schraub, E. M.; Stegmaier, R.; Sonntag, K.; Büch, V.; Michaelis, U.; Spellenberg, U.: Bestimmung des ökonomischen Nutzens eines ganzheitlichen Gesundheitsmanagements. In: Badura, B.; Schröder.; Vetter, C. (Hrsg.): Fehlzeiten-Report 2008. Betriebliches Gesundheitsmanagement: Kosten und Nutzen. Zahlen, Daten, Analysen aus allen Branchen der Wirtschaft. Berlin: Springer 2009.

SCHUH & GOTTSCHALK 2006

Schuh, G.; Gottschalk, S.: Komplexitätsoptimale Gestaltung manueller Serienmontage. *wt Werkstatttechnik online* 96 (2006) 9, S. 587-591.

SCHÜHLEIN 1997

Schülein, W. H.: Neben den Olympics brauchen wir auch die Paralympics. *Personalführung* 30 (1997) 6, S. 484-485.

SCHULTETUS 1987

Schultetus, W.: *Montagesystemgestaltung. Daten, Hinweise und Beispiele zur ergonomischen Arbeitsgestaltung*. 2. Aufl. Köln: Verlag TÜV Rheinland 1987. (Praxis der Ergonomie)

SCHWAB 2009

Schwab, C.: 28. Bekanntmachung des Projektträger Forschungszentrum Karlsruhe (PTKA) "Standortsicherung durch Wandlungsfähige Produktionssysteme".

<http://www.produktionsforschung.de/fzk/idcplg?IdcService=PFT&n ode=2309&document=ID_068181> (09.04.2009).

SCHWERTNER 2005

Schwertner, J.: Wie Faurecia die Vision einer schlanken Fabrik umsetzt. In: Schuh, G.; Jordan, G. (Hrsg.): *Die Fabrik des Jahres 2004*. Regensburg. Landsberg: moderne industrie 2005.

SEDLATSCHEK & THIEHOFF 2004

Sedlatschek, C.; Thiehoff, R.: *Demographischer Wandel und Beschäftigung. Plädoyer für neue Unternehmensstrategien*. Dortmund: Scholz 2004.

SEITZ 1992

Seitz, D.: *Arbeit und Organisation in der Serienmontage*. Düsseldorf: VDI-Verlag 1992. (Fortschritt-Berichte VDI 2/260)

SEVERING 2006

Severing, E.: *Konzepte und Instrumente für eine nachhaltige Personalpolitik. Das Projekt "Mit Erfahrung Zukunft meistern (MEZ) – wettbewerbsfähig mit älteren Mitarbeitern"*. In: Brossardt, B. (Hrsg.): *1. Kongress Personalmanagement. Alternde Belegschaften – Herausforderungen für Unternehmen*. Nürnberg: BayME VBM 2006.

SHANTHIKUMAR & RACHAMADUGU 1991

Shanthikumar, J. G.; Rachamadugu, R.: Layout considerations in assembly line design. International Journal of Production Research 29 (1991) 4, S. 755-768.

SHINGO 1989

Shingo, S.: A Study of the Toyota Production System – From an Industrial Engineering Viewpoint. 2. Aufl. Portland, OR, USA: Productivity Press 1989.

SIEG 2008

Sieg, A. (Red.): Forum + Marktplatz “Kompetenz Montage”. <<http://www.maschinenbau.de/nachrichten-events/2055/4/Forum-Marktplatz-Kompetenz-Montage-.aspx>> (04.12.2008).

SLAMA 2004

Slama, S.: Effizienzsteigerung in der Montage durch marktorientierte Montagestrukturen und erweiterte Mitarbeiterkompetenz. Bamberg: Meisenbach 2004. (Fertigungstechnik - Erlangen 148)

SOZIALGESETZBUCH IX 2006

Bundesministerium für Arbeit und Soziales (Hrsg.): Rehabilitation und Teilhabe behinderter Menschen. SGB IX. Köln: Bundesanzeiger 30.08.2006.

SPATH 1996

Spath, D.: Absatzsynchrone Montageplanung. In: Reinhart, G. (Hrsg.): 13. Deutscher Montagekongress. Die Montage im internationalen Wettbewerb. München. Landsberg: moderne industrie 1996.

SPATH U. A. 2004

Spath, D.; Koch, S.; Rally, P.; Richter, M.: Lessons Learned – Gescheiterte Trends in der Montage. In: Zäh, M. F. (Hrsg.): 18. Deutscher Montagekongress. Fundamentale Kostensenkung – auch in der Montage. München. Landsberg: moderne industrie 2004.

SPATH U. A. 2005

Spath, D.; Rally, P.; Richter, M.: Adaptiv-unternehmerische Arbeitsorganisation für die kundenintegrierte Montage. In: Zäh, M. F. (Hrsg.): 19. Deutscher Montagekongress. Zukunftsperspektive: Montagestandort Deutschland! München. Landsberg: moderne industrie 2005.

SPATH & BRAUN 2003

Spath, D.; Braun, M.: Menschgerechte Arbeitsgestaltung als Führungsaufgabe. wt Werkstattstechnik online 93 (2003) 1/2, S. 75-79.

SPUR & HELWIG 1986

Spur, G.; Helwig, H. J.: Einführung in die Montagetechnik. In: Spur, G.; Stöferle, T. (Hrsg.): Handbuch der Fertigungstechnik. Band 5: Fügen, Handhaben, Montieren. München: Hanser 1986, S. 591-606.

SPUR & STÖFERLE 1986

Spur, G.; Stöferle, T. (Hrsg.): Handbuch der Fertigungstechnik. Band 5: Fügen, Handhaben, Montieren. München: Hanser 1986.

STATISTISCHES BUNDESAMT 2003

Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Bevölkerung Deutschlands bis 2050. Ergebnisse der 10. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt 2003.

STATISTISCHES BUNDESAMT 2007

Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Demografischer Wandel in Deutschland. Heft 1: Bevölkerungs- und Haushaltsentwicklung im Bund und in den Ländern. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt 2007.

STATISTISCHES BUNDESAMT 2009

Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Geburten und Sterbefälle. Vorläufige Monatsergebnisse der Geburten und Sterbefälle (nach Registrierort). <http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Content/Statistiken/Bevoelkerung/GeburtenSterbefaelle/Tabellen/Content75/N1__GeburtenSterbefaelle,templateId=renderPrint.psml> (13.05.2009).

Literaturverzeichnis

STRASSMANN 1998

Strassmann, B.: Mensch trifft Maschine. Virtuelle Arbeitnehmer helfen, Montagebänder und Fahrzeuge zu verbessern. Die Zeit 53 (1998) 44.

TÄUBERT & REIF 1997

Täubert, J.; Reif, A.: Leitfaden zur alter(n)sgerechten physiologischen Arbeitsgestaltung in der Montage. Chemnitz: 1997. (Wissenschaftliche Schriftenreihe des Instituts für Betriebswissenschaften und Fabrik-systeme 14)

UNITED NATIONS 2005

N. N.: Population Challenges and Development Goals. Department of Economic and Social Affairs. New York, NY, USA: United Nations 2005.

ÜPPING U. A. 1997

Üpping, H.; Altmann, M.; Averkamp, C.: Ältere Mitarbeiter - die Innovationspromotoren? Personalführung 30 (1997) 12, S. 1158-1166.

VBMG 2005

VBMG - Vereinigung der Metall-Berufsgenossenschaften (Hrsg.): Mensch und Arbeitsplatz. Bochum: Technik und Information 2005. (BGI 523)

VDI 2057-3 (2006)

VDI 2057, Blatt 3: Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen - Ganzkörperschwingungen an Arbeitsplätzen in Gebäuden. Düsseldorf: VDI-Verlag 2006.

VDI 2221 (1993)

VDI Richtlinie 2221: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte. Düsseldorf: VDI-Verlag 1993.

VDI 2815 (1978)

VDI Richtlinie 19226, Blatt 1: Begriffe für die Produktionsplanung und -steuerung - Einführung, Grundlagen. Düsseldorf: VDI-Verlag 1978.

VDI 2860 (1990)

VDI Richtlinie 2860, Blatt 1: Handhabungsfunktionen, Handhabungseinrichtungen: Begriffe, Definitionen, Symbole. Düsseldorf: VDI-Verlag 1990.

VDI / VDE / PROGNOSE 2000

VDI / VDE-IT / Prognos. In: Endres, G. L.: Demographischer Wandel und betriebliche Altersstrukturen. Personalführung 33 (2000) 2, S. 48-53.

VESTER 2002

Vester, F.: Die Kunst vernetzt zu denken. Ideen und Werkzeuge für einen neuen Umgang mit Komplexität. Der neue Bericht an den Club of Rome. München: dtv 2002.

VETTER 2003

Vetter, C.: Einfluss der Altersstruktur auf die krankheitsbedingten Fehlzeiten. In: Badura, B.; Schellenschmidt, H.; Vetter, C. (Hrsg.): Fehlzeiten-Report 2002. Demographischer Wandel: Herausforderung für die betriebliche Personal- und Gesundheitspolitik. Zahlen, Daten, Analysen aus allen Branchen der Wirtschaft. Berlin: Springer 2003, S. 249-264.

VOSS 2005

Voss, A.: Zukunft Bandmontage. Ist die Fließbandmontage noch zeitgemäß? In: Zäh, M. F. (Hrsg.): 19. Deutscher Montagekongress. Zukunftsperspektive: Montagestandort Deutschland! München. Landsberg: moderne industrie 2005.

WAGNER 2006

Wagner, W.: Fabrikplanung für die standortübergreifende Kostensenkung bei marktnaher Produktion. München: Utz 2006. (*iwb* Forschungsberichte 195)

WARNECKE 1996

Warnecke, H. J. (Hrsg.): Die Montage im flexiblen Produktionsbetrieb. Technik, Organisation, Betriebswirtschaft. Berlin: Springer 1996.

WDA 2009

Romanin, R. (Red.): World Demographic Association. <<http://www.wdassociation.org>> (10.05.2009).

WEBER 2004

Weber, J.: Die strategische HR-Initiative Aging Workforce der DaimlerChrysler AG. In: Schletz, A. (Hrsg.): Die demografische Zeitbombe tickt (Konferenzband). Berlin: 2004.

WESTKÄMPER 2000

Westkämper, E.: Wandlungsfähige Unternehmensstrukturen für die variantenreiche Serienproduktion. Ergebnisbericht 2000, 2001, 2002. Sonderforschungsbereich 467. Stuttgart: IRB-Verlag 2002.

WESTKÄMPER U. A. 2001

Westkämper, E.; Bullinger, H.-J.; Horváth, P.; Zahn, E. (Hrsg): Montageplanung – effizient und marktgerecht. Wien, A: Springer 2001.

WIENDAHL U. A. 2004

Wiendahl, H. P.; Gerst, D.; Keunecke, L. (Hrsg.): Variantenbeherrschung in der Montage – Konzept und Praxis der flexiblen Produktionsendstufe (PEflex). Berlin: Springer 2004.

WILHELM 2003

Wilhelm, B.: Flexibel, vernetzt, verantwortungsvoll – Anforderungen an eine Automobilproduktion von morgen. In: Zäh, M. F.; Reinhart, G.; Hoffmann, H.; Milberg, J. (Hrsg.): Münchener Kolloquium 2003. Grenzen überwinden – Wachstum der neuen Art. München: Utz 2003, S. 187-210.

WILK 2006

Wilk, C.: Heißer Herbst in Berlin. 2. Deutscher Maschinenbau Gipfel – Zukunft Produzieren. Produktion 45 (2006) 20, S. 1-2.

WILLIAMS & CRUMPTON 1997

Williams, S. N.; Crumpton, L. L.: Investigating the work ability of older employees. International Journal of Industrial Ergonomics 20 (1997) 3, S. 241-249.

WILLNECKER 2000

Willnecker, U.: Gestaltung und Planung leistungsorientierter manueller Fließmontage. München: Utz 2000. (*iwb* Forschungsberichte 146)

WIRTH U. A. 2003

Wirth, U.; Vielhaber, W.; Mühlenbruch, H.; Große-Heitmeyer, V.: Montage in Deutschland – marktorientiert, rationell, flexibel. Tagungsband. München: 2003.

WITTE & VIELHABER 2003

Witte, K. W.; Vielhaber, W. (Hrsg.): Flexible und wirtschaftliche Serienmontage – Wege zu zukunftsstabilen Montagesystemen (MORATIO). Aachen: Shaker 2003.

WITTE & VIELHABER 2008

Witte, K.-W.; Vielhaber, W. (Hrsg.): Lebenszyklusorientierte Montage – Modulare Systeme und neue Geschäftsmodelle. Aachen: Shaker 2008.

WITTMANN 2002

Wittmann, M.: Herausforderung für Wirtschaft und Wissenschaft: Das 1. Symposium des Generation Research Program Bad Tölz. *European Journal of Geriatrics* 4 (2002) 1, S. 37-38.

WOLLERT 1998

Wollert, A.: Anpassungsreserve oder Potential für Innovationen? *Personalführung* 31 (1998) 1, S. 32-35.

WOMACK U. A. 1991

Womack, J. P.; Jones, D. T.; Roos, D.: Die zweite Revolution in der Automobilindustrie. Konsequenzen aus der weltweiten Studie des Massachusetts Institute of Technology. Frankfurt a. M.: Campus 1991.

ZÄH 2005

Zäh, M. F. (Hrsg.): 19. Deutscher Montagekongress. Zukunftsperspektive: Montagestandort Deutschland! München. Landsberg: moderne industrie 2005.

ZÄH U. A. 2002

Zäh, M. F.; Lotter, B.; Wagner, W.: Leistungsgewandelte Mitarbeiter, quo vadis? Eine günstige Arbeitsgestaltung hält Mitarbeiter fit. *ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 97 (2002) 11, S. 576-579.

ZÄH U. A. 2003

Zäh, M. F.; Wagner, W.; Weber, V.: Maintaining, Increasing and Using the Innovative Capabilities of Older Employees. In: Weber, C.: *Proceedings of the 36th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems*. Saarbrücken: 2003, S. 567-570.

ZÄH U. A. 2004A

Zäh, M. F.; Müller, N.; Prash, M. G.; Sudhoff, W.: Methodik zur Erhöhung der Wandlungsfähigkeit. *ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 99 (2004) 4, S. 173-177.

ZÄH U. A. 2004B

Zäh, M. F.; Wagner, W.; Ulrich, C.; Hoser, S.: Demografischer Wandel und Produktion. ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 99 (2004) 11, S. 604-608.

ZÄH U. A. 2005A

Zäh, M. F.; Wagner, W.; Prash, M. G.: Montagestrukturen für alternende Belegschaften. Systematische Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter in Wertschöpfungsprozesse. wt Werkstattstechnik online 95 (2005) 9, S. 637-642.

ZÄH U. A. 2005B

Zäh, M. F.; Wagner, W.; Guserle, R.: Integration leistungsgewandelter Mitarbeiter mit Hilfe von Roboterunterstützung – Menschgerechte Anpassung von Produktionsstrukturen zur Berücksichtigung des demografischen Wandels. wt Werkstattstechnik online 95 (2005) 3, S. 97-101.

ZÄH U. A. 2006A

Zäh, M. F.; Rimpau, C.; Franzkowiak, M.; Hoffmann, H.; Träger, M.: Innovative Strategien für die Produktion der Zukunft. In: Hoffmann, H.; Reinhart, G.; Zäh, M. F. (Hrsg.): Münchener Kolloquium 2006. Zukunft Voraus – Denken für den Standort Deutschland. München: Utz 2006.

ZÄH U. A. 2006B

Zäh, M. F.; Rudolf, H.; Vogl, W.; Wiesbeck, M.: Digitale Werkzeuge zur Unterstützung der variantenreichen Serienmontage. In: Wolf-Kluthausen (Hrsg.): Jahrbuch der Logistik 2006. Korschbroich: freeberatung 2006, S. 36-39.

ZÄH U. A. 2006C

Zäh, M. F.; Werner, J.; Lange, F.: System to Realize a Conveying Belt Synchronous Assembly. In: Katalinic, B. (Hrsg.): Annals of DAAAM for 2006 & Proceedings of the 17th International DAAAM Symposium „Intelligent Manufacturing & Automation: Focus on Mechatronics and Robotics”. Wien, Österreich: DAAAM International 2006, S. 449-450.

ZÄH U. A. 2006D

Zäh, M. F.; Werner, J.; Prasch, M. G.: Changeable Means of Production. In: Westkämper, E. (Hrsg.): Proceedings of the 1st CIRP Seminar on Assembly Systems. Stuttgart: 2006.

ZÄH & AULL 2006

Zäh, M. F.; Aull, F.: Lean Produktion-Methoden und Interdependenzen. wt Werkstattstechnik online 96 (2006) 9, S. 683-687.

ZÄH & PRASCH 2006

Zäh, M. F.; Prasch, M. G.: Efficient and Ergonomic Workplace Design and Assembly Reorganization for Aging Workforces. In: Butala, G.; Hlebanja, G. (Hrsg.): Proceedings of the 39th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems. The Morphology of Innovative Manufacturing Systems. Ljubljana, Slowenien: 2006, S. 73-78.

ZÄH & PRASCH 2007

Zäh, M. F.; Prasch, M. G.: Systematic Workplace and Assembly Redesign for Aging Workforces. Production Engineering 1 (2007) 1, S. 57-64.

ZAHN-ELLIOTT 2005

Zahn-Elliott, U.: Bekanntmachung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung von Richtlinien zur Förderung von Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet “Präventiver Arbeits- und Gesundheitsschutz”. <<http://www.bmbf.de/foerderungen/4655.php>> (22.06.2005).

ZOIKE U. A. 2005

Zoike, E.; Hernold, P.; König, C.; Malin, E. M.; Chruscs, D.: BKK Gesundheitsreport 2005. Krankheitsentwicklungen – Blickpunkt: Psychische Gesundheit. Essen/Alfeld: Dobler 2005.

ZOIKE U. A. 2009


Zoike, E.; Lemke, E.; Ließmann, J. (Hrsg.): BKK Gesundheitsreport 2008. Seelische Krankheiten prägen das Krankheitsgeschehen. Essen/Selm: Lonnemann 2009.

ZOK 2009

Zok, K.: Stellenwert und Nutzen betrieblicher Gesundheitsförderung aus Sicht der Arbeitnehmer. In: Badura, B.; Schröder.; Vetter, C. (Hrsg.): Fehlzeiten-Report 2008. Betriebliches Gesundheitsmanagement: Kosten und Nutzen. Zahlen, Daten, Analysen aus allen Branchen der Wirtschaft. Berlin: Springer 2009.

10 Anhang

10.1 Anforderungs- und Belastbarkeits-Analyse (ABA)



ABATech - Erfassungsbogen (Anforderungs- und Belastbarkeits- Analyse)

Stand: 2003

<p>Arbeitsplatzdaten</p> <p>Art des Arbeitsplatzes: Freie ABA <input type="checkbox"/> TVG <input type="checkbox"/> Entwurf <input type="checkbox"/> Planung <input type="checkbox"/> AVG <input type="checkbox"/> UEM <input type="checkbox"/> Status des Arbeitsplatzes: gültig <input type="checkbox"/> nicht gültig <input type="checkbox"/> Arbeitsplatznummer: <input type="text"/> Anzahl der/die/dienstlichen Arbeitsplätze: <input type="text"/> Bezeichnung: <input type="text"/></p>	<p>Weitere Informationen</p> <p>Fahr- und Steuertätigkeit: ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> Einschichtbetrieb: ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/></p>	<p>Bearbeitungsdaten</p> <p>Analyse erstellt durch: <input type="text"/> Datum: <input type="text"/> Weitere Teilnehmer: <input type="text"/></p>	<p>Erläuterungen</p> <p>GRÜN: Niedriges Risiko / Ergonomische Arbeitsplatzgestaltung in Ordnung / Gestaltungsziel erreicht GELB: Mögliches Risiko / Arbeitsplatzgestaltung ist verbesserungswürdig / Maßnahmen erforderlich ROT: Erhöhtes Risiko / Arbeitsplatzgestaltung nicht in Ordnung / Maßnahmen dringend erforderlich</p> <p>Die Häufigkeit einer Belastung ist anteilig zum Betrachtungszeitraum (Takt, TVG, ...) in Prozent anzugeben. Aus der Belastungsskala kann die Bewertung entnommen werden</p>
<p>Identifikation</p> <p>Kostenstelle: <input type="text"/> Werk: <input type="text"/> Baureihe: <input type="text"/> Kurzzeichen: <input type="text"/> Gebäude: <input type="text"/> Modul: <input type="text"/> Meistergruppe: <input type="text"/> Stockwerk: <input type="text"/> Konstruktionsgr.: <input type="text"/> Inventar-Nr.: <input type="text"/> Achse: <input type="text"/> Sachnummer: <input type="text"/></p>	<p>06: Muskelbelastung der Arme und des Schultergürtels durch Schieben, Ziehen, Drücken</p> <p><input type="checkbox"/> Keine Belastung vorhanden</p> <p>...bei Tätigkeiten im Stehen <input type="checkbox"/> im Sitzen <input type="checkbox"/></p> <p>Hantieren mit Kraftaufwand 25 bis < 80 N <input type="text"/> % <input type="text"/> % <input type="text"/> % <input type="text"/> % Hantieren mit Kraftaufwand 80 bis < 180 N <input type="text"/> % <input type="text"/> % <input type="text"/> % <input type="text"/> % Hantieren mit Kraftaufwand ≥ 180 N <input type="text"/> % <input type="text"/> % <input type="text"/> % <input type="text"/> %</p> <p>Bemerkung: <input type="text"/></p>		
<p>01: Erforderliche Körpergröße</p> <p>Die Arbeitshöhe ist für Mitarbeiter mit einer Körpergröße von <input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> geeignet</p> <p>150-195 cm <input type="checkbox"/> > 165 cm <input type="checkbox"/> < 185 cm <input type="checkbox"/> > 165 cm und < 185 cm <input type="checkbox"/> geeignet <input type="checkbox"/></p> <p>Bemerkung: <input type="text"/></p>			
<p>02: Belastung des Nackens</p> <p><input type="checkbox"/> Keine Belastung des Nackens</p> <p>Statische Belastung und/oder Auslenkung bis zum Grenzbereich <input type="text"/> % <input type="text"/> % <input type="text"/> % <input type="text"/> %</p> <p>Bemerkung: <input type="text"/></p>			
<p>03: Arbeiten über Schulterhöhe</p> <p><input type="checkbox"/> Keine Arbeiten über Schulterhöhe</p> <p>Hantieren ohne wesentliche Kraftausübung < 10 N <input type="text"/> % <input type="text"/> % <input type="text"/> % <input type="text"/> % Kurzzeitige Kraftausübung ≥ 10 bis 40 N <input type="text"/> % <input type="text"/> % <input type="text"/> % <input type="text"/> % Anhaltende Haltearbeit / kurzzeitige Kraftausübung > 40 N <input type="text"/> % <input type="text"/> % <input type="text"/> % <input type="text"/> %</p> <p>Bemerkung: <input type="text"/></p>			
<p>04: Beweglichkeit des Rumpfes</p> <p><input type="checkbox"/> Nur geringe Beweglichkeit erforderlich</p> <p>Beugen 15° bis < 30° <input type="checkbox"/> und/oder Drehen < 15° <input type="checkbox"/> Beugen ≥ 30° bis < 90° <input type="checkbox"/> und/oder Drehen ≥ 15° (volle Beweglichkeit) <input type="checkbox"/> Beugen ≥ 90° <input type="checkbox"/> sowie Beugen und/oder Drehen unter erschwerten Bedingungen <input type="checkbox"/></p> <p>Bemerkung: <input type="text"/></p>			
<p>05: Beweglichkeit der Arme incl. Schultergelenk</p> <p><input type="checkbox"/> Nur geringe Beweglichkeit erforderlich</p> <p>Bewegung erforderlich im Greifraum > 60cm <input type="text"/> % <input type="text"/> % <input type="text"/> % <input type="text"/> %</p> <p>Bemerkung: <input type="text"/></p>			
<p>07: Belastung der Unterarme und Hände durch Schlag-, Druck- oder Drehbewegung sowie Vibrationen</p> <p><input type="checkbox"/> Keine Belastung vorhanden</p> <p>Geringe Belastung <input type="text"/> % <input type="text"/> % <input type="text"/> % <input type="text"/> % Mittlere Belastung <input type="text"/> % <input type="text"/> % <input type="text"/> % <input type="text"/> % Hohe Belastung <input type="text"/> % <input type="text"/> % <input type="text"/> % <input type="text"/> %</p> <p>Bemerkung: <input type="text"/></p>			
<p>08: Belastung der Finger (Anforderung durch Bewegung und/oder Kraftausübung)</p> <p>Feinmotorik erforderlich <input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> Geringe Belastung <input type="text"/> % <input type="text"/> % <input type="text"/> % <input type="text"/> % Mittlere Belastung <input type="text"/> % <input type="text"/> % <input type="text"/> % <input type="text"/> % Hohe Belastung <input type="text"/> % <input type="text"/> % <input type="text"/> % <input type="text"/> %</p> <p>Bemerkung: <input type="text"/></p>			
<p>09: Beweglichkeit der Kniegelenke</p> <p><input type="checkbox"/> Nur geringe Beweglichkeit erforderlich</p> <p>Volle Beweglichkeit (Beugewinkel ≥ 90°) <input type="text"/> % <input type="text"/> % <input type="text"/> % <input type="text"/> % Volle Beweglichkeit unter erschwerten Bedingungen <input type="text"/> % <input type="text"/> % <input type="text"/> % <input type="text"/> %</p> <p>Bemerkung: <input type="text"/></p>			

© BMW Group Seite 1 von 2

Abbildung 48: ABATech Erfassungsbogen Teil 1
(ARBEITSKREIS ERGONOMIE 2002)

<p>10: Stehen, Gehen, Sitzen</p> <p>Stehen <input type="checkbox"/> % <input type="checkbox"/> % <input type="checkbox"/> % <input type="checkbox"/> %</p> <p>Gehen <input type="checkbox"/> % <input type="checkbox"/> % <input type="checkbox"/> % <input type="checkbox"/> %</p> <p>Sitzen <input type="checkbox"/> % <input type="checkbox"/> % <input type="checkbox"/> % <input type="checkbox"/> %</p> <p>Stehen, Gehen, Sitzen unter erschwerten Bedingungen z.B. Zwangshaltung <input type="checkbox"/> % <input type="checkbox"/> % <input type="checkbox"/> % <input type="checkbox"/> %</p> <p>Bemerkung:</p>	<p>14: Beleuchtung</p> <p>Beleuchtungsstärke: <input type="checkbox"/> Lux <input type="checkbox"/> Lux</p> <p>Die Beleuchtung entspricht der Arbeitsaufgabe. <input type="checkbox"/> voll <input type="checkbox"/> eingeschränkt <input type="checkbox"/> nicht</p> <p>Bemerkung:</p>
<p>11: Handhaben von Lasten</p> <p><input type="checkbox"/> Kein Handhaben von Lasten > 1 kg erforderlich</p> <p>Hebevorgang 1 Hebevorgang 2 Hebevorgang 3</p> <p>Lastgewicht <input type="checkbox"/> kg <input type="checkbox"/> kg <input type="checkbox"/> kg</p> <p>Anzahl der Hübe: <input type="checkbox"/> pro Schicht <input type="checkbox"/> pro Schicht <input type="checkbox"/> pro Schicht</p> <p>Ausführungsbedingungen: <input type="checkbox"/> gut <input type="checkbox"/> schlecht <input type="checkbox"/> gut <input type="checkbox"/> schlecht</p> <p>Körperhaltung: <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> D</p> <p></p> <p>Bemerkung:</p> <p><small>Ergebnis wird bei Ergabe berechnet bzw. kann m.H. des Leitfadens ermittelbar werden. Gefährdungsrisiko sind Hebe- und Trägevorgänge gesondert zu betrachten</small></p>	<p>15: Gefahrstoffe im Arbeitsbereich</p> <p><input type="checkbox"/> Gefahrstoffe sind nicht vorhanden</p> <p>Gefahrstoffe sind vorhanden <input type="checkbox"/> Grenzwerte eingehalten <input type="checkbox"/> Grenzwerte eingehalten aber belastend <input type="checkbox"/> Grenzwerte eingehalten aber über Grenzwert</p> <p>Bemerkung, bzw. eingesetzte Stoffe:</p>
<p>12: Lärm</p> <p>Messwert am Arbeitsplatz <input type="checkbox"/> dB(A).</p> <p>oder Einstufung laut Lärmkataster <input type="checkbox"/> bis 84 <input type="checkbox"/> 85 bis 89 <input type="checkbox"/> ≥ 90 <input type="checkbox"/> dB(A)</p> <p>Bemerkung:</p>	<p>16: Nässe</p> <p>Belastung durch Nässe <input type="checkbox"/> % <input type="checkbox"/> % <input type="checkbox"/> % <input type="checkbox"/> %</p> <p>Bemerkung:</p> <p><input type="checkbox"/> Keine Belastung durch Nässe</p>
<p>13: Klima (Jahresbetrachtung)</p> <p>Klima (Wärme, Kälte, Luftfeuchtigkeit oder Zugluft) <input type="checkbox"/> < 2 Wochen <input type="checkbox"/> 2 bis 8 Wochen <input type="checkbox"/> > 8 Wochen</p> <p>Bemerkung:</p> <p>außerhalb des Behaglichkeitsbereiche.</p>	<p>17: Taktabhängiger Arbeitsplatz</p> <p><input type="checkbox"/> keine <input type="checkbox"/> normale <input type="checkbox"/> enge <input type="checkbox"/> Taktbindung</p> <p>Bemerkung:</p>
<p>18: Informationsaufnahme</p> <p>Die Informationsmenge ist <input type="checkbox"/> klein <input type="checkbox"/> groß</p> <p>Die Informationsstruktur ist <input type="checkbox"/> gut <input type="checkbox"/> schlecht</p> <p>Bemerkung:</p>	<p>19: Unfallgefahren am Arbeitsplatz</p> <p><input type="checkbox"/> Sind nicht vorhanden</p> <p>Gefährdungsanalyse (siehe Leitfaden) <input type="checkbox"/> Gefährdungsanalyse nach Maschinrichtlinie (MRL) erforderlich <input type="checkbox"/> Ablageort: <input type="checkbox"/></p> <p>Erforderliche persönliche Schutzausrüstung (PSA): <input type="checkbox"/></p> <p>Erforderliche Betriebsanweisung: <input type="checkbox"/></p> <p>Bemerkung:</p>

Abbildung 49: ABATech Erfassungsbogen Teil 2 (ARBEITSKREIS ERGONOMIE 2002)

10.2 Befragungsbogen und Auswertevorgehen bei der Ermittlung des „Work Ability Index“ (WAI)

Work Ability Index (WAI) - Fragebogen (Kurzversion)

Sind Sie bei Ihrer Arbeit...	
vorwiegend geistig tätig?	O ₁
vorwiegend körperlich tätig?	O ₂
etwa gleichmaßen geistig und körperlich tätig?	O ₃

1. Derzeitige Arbeitsfähigkeit im Vergleich zu der besten, je erreichten Arbeitsfähigkeit										
Wenn Sie Ihre beste, je erreichte Arbeitsfähigkeit mit 10 Punkten bewerten: Wie viele Punkte würden Sie dann für Ihre derzeitige Arbeitsfähigkeit geben? (0 bedeutet, dass Sie derzeit arbeitsunfähig sind)										
O ₀	O ₁	O ₂	O ₃	O ₄	O ₅	O ₆	O ₇	O ₈	O ₉	O ₁₀
völlig arbeitsunfähig										derzeit die beste Arbeitsfähigkeit

2. Arbeitsfähigkeit in Bezug auf die Arbeitsanforderungen	
Wie schätzen Sie Ihre derzeitige Arbeitsfähigkeit in Bezug auf die körperlichen Arbeitsanforderungen ein?	
sehr gut	O ₅
eher gut	O ₄
mittelmäßig	O ₃
eher schlecht	O ₂
sehr schlecht	O ₁
Wie schätzen Sie Ihre derzeitige Arbeitsfähigkeit in Bezug auf die psychischen Arbeitsanforderungen ein?	
sehr gut	O ₅
eher gut	O ₄
mittelmäßig	O ₃
eher schlecht	O ₂
sehr schlecht	O ₁

Abbildung 50: WAI Erfassungsbogen Teil 1

(Quelle: WWW.ARBEITSFAEHIGKEIT.NET)

3. Anzahl der aktuellen ärztlich diagnostizierten Krankheiten				
Kreuzen Sie in der folgenden Liste Ihre Krankheiten oder Verletzungen an. Geben Sie bitte auch an, ob ein Arzt diese Krankheiten diagnostiziert oder behandelt hat.				
		eigene Diagnose	Diagnose vom Arzt	liegt nicht vor
1	Unfallverletzungen (z.B. des Rückens, der Glieder, Verbrennungen)	<input type="checkbox"/> ₂	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₀
2	Erkrankungen des Muskel-Skelett-Systems von Rücken, Gliedern oder anderen Körperteilen (z.B. wiederholte Schmerzen in Gelenken oder Muskeln, Ischias, Rheuma, Wirbelsäulenerkrankungen)	<input type="checkbox"/> ₂	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₀
3	Herz-Kreislauf-Erkrankungen (z.B. Bluthochdruck, Herzkrankheit, Herzinfarkt)	<input type="checkbox"/> ₂	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₀
4	Atemwegserkrankungen (z.B. wiederholte Atemwegsinfektionen, chronische Bronchitis, Bronchialasthma)	<input type="checkbox"/> ₂	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₀
5	Psychische Beeinträchtigungen (z.B. Depressionen, Angstzustände, chronische Schlaflosigkeit, psychovegetatives Erschöpfungssyndrom)	<input type="checkbox"/> ₂	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₀
6	Neurologische und sensorische Erkrankungen (z.B. Tinnitus, Hörschäden, Augenerkrankungen, Migräne, Epilepsie)	<input type="checkbox"/> ₂	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₀
7	Erkrankungen des Verdauungssystems (z.B. der Gallenblase, Leber, Bauchspeicheldrüse, Darm)	<input type="checkbox"/> ₂	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₀
8	Erkrankungen im Urogenitaltrakt (z.B. Hamwegsinfektionen, gynäkologische Erkrankungen)	<input type="checkbox"/> ₂	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₀
9	Hautkrankheiten (z.B. allergischer Hautausschlag, Ekzem)	<input type="checkbox"/> ₂	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₀
10	Tumore / Krebs	<input type="checkbox"/> ₂	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₀
11	Hormon- / Stoffwechselerkrankungen (z.B. Diabetes, Fettleibigkeit, Schilddrüsenprobleme)	<input type="checkbox"/> ₂	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₀
12	Krankheiten des Blutes (z.B. Anämie)	<input type="checkbox"/> ₂	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₀
13	Angeborene Leiden / Erkrankungen	<input type="checkbox"/> ₂	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₀
14	Andere Leiden oder Krankheiten: Welche? (bitte eintragen)	<input type="checkbox"/> ₂	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₀

4. Geschätzte Beeinträchtigung der Arbeitsleistung durch die Krankheiten	
Behindert Sie derzeit eine Erkrankung oder Verletzung bei der Arbeit? Falls nötig, kreuzen Sie bitte mehr als eine Antwort-Möglichkeit an.	
• Keine Beeinträchtigung / Ich habe keine Erkrankung	<input type="radio"/> O ₆
• Ich kann meine Arbeit ausführen, habe aber Beschwerden	<input type="radio"/> O ₅
• Ich bin manchmal gezwungen, langsamer zu arbeiten oder meine Arbeitsmethoden zu ändern	<input type="radio"/> O ₄
• Ich bin oft gezwungen, langsamer zu arbeiten oder meine Arbeitsmethoden zu ändern	<input type="radio"/> O ₃
• Wegen meiner Krankheit bin ich nur in der Lage Teilzeitarbeit zu verrichten	<input type="radio"/> O ₂
• Meiner Meinung nach bin ich völlig arbeitsunfähig	<input type="radio"/> O ₁

Abbildung 51: WAI Erfassungsbogen Teil 2

(Quelle: WWW.ARBEITSFAEHIGKEIT.NET)

5. Krankenstand im vergangenen Jahr (12 Monate)	
Wie viele ganze Tage blieben Sie auf Grund eines gesundheitlichen Problems (Krankheit, Gesundheitsvorsorge oder Untersuchung) im letzten Jahr (12 Monate) der Arbeit fern?	
überhaupt keinen	O ₅
höchstens 9 Tage	O ₄
10-24 Tage	O ₃
25-99 Tage	O ₂
100-365 Tage	O ₁

6. Einschätzung der eigenen Arbeitsfähigkeit in zwei Jahren	
Glauben Sie, dass Sie, ausgehend von Ihrem jetzigen Gesundheitszustand, Ihre derzeitige Arbeit auch in den nächsten zwei Jahren ausüben können?	
unwahrscheinlich	O ₁
nicht sicher	O ₄
ziemlich sicher	O ₇

7. Psychische Leistungsreserven	
Haben Sie in der letzten Zeit Ihre täglichen Aufgaben mit Freude erledigt?	
häufig	O ₄
eher häufig	O ₃
manchmal	O ₂
eher selten	O ₁
niemals	O ₀
Waren Sie in letzter Zeit aktiv und rege?	
immer	O ₄
eher häufig	O ₃
manchmal	O ₂
eher selten	O ₁
niemals	O ₀
Waren Sie in der letzten Zeit zuversichtlich, was die Zukunft betrifft?	
ständig	O ₄
eher häufig	O ₃
manchmal	O ₂
eher selten	O ₁
niemals	O ₀

Abbildung 52: WAI Erfassungsbogen Teil 3

(Quelle: WWW.ARBEITSFAEHIGKEIT.NET)

10.3 Zahlenmaterial zu Krankheitsdaten und Fehlzeiten

Krankenstandsquote je Berufsgruppe in %	Alterskohorten (in Jahren)									
	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	50-54	55-59	60-64
Bauarbeiter	5,75	5,25	5,50	5,75	6,50	6,50	7,25	9,75	15,00	19,25
Metallverarbeiter	3,00	4,75	4,50	5,75	5,25	5,00	5,25	6,75	10,25	21,00
Wirtschafts- und Sozialwissenschaftler, Statistiker	1,50	2,00	2,00	2,00	2,00	3,00	2,50	3,00	4,00	3,50
Apotheker	2,50	2,00	1,00	2,00	2,00	2,50	2,50	2,50	2,00	1,00
Alle Berufsgruppen insgesamt	4,10	4,20	3,80	4,00	4,50	4,90	5,60	6,80	9,30	9,70

Abbildung 53: Datenbasis für die Krankenstandsquoten verschiedener Berufsgruppen in Abbildung 9 in Abhängigkeit vom Lebensalter im Jahr 2001 (siehe VETTER 2003, S. 250 und S 253)

Arbeitsunfähigkeitstage je 100 AOK-Mitglieder und Krankheitsursache	Alterskohorten (in Jahren)									
	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	50-54	55-59	60-64
Sonstige	391,3	419,7	374,9	385,1	432,7	502,8	596,1	738,3	977,0	1014,3
Psyche	51,0	85,5	97,7	116,8	138,4	155,1	168,9	199,8	259,8	203,1
Verdauung	162,3	166,4	127,0	118,3	125,9	134,6	147,6	163,4	201,7	206,1
Atemwege	461,2	405,9	304,2	280,9	279,7	269,0	264,3	284,0	344,4	324,9
Verletzungen	380,7	332,8	304,3	290,4	292,4	293,6	296,7	325,0	378,3	369,3
Herz/Kreislauf	35,7	42,4	41,4	51,0	71,5	108,4	175,7	286,5	476,4	585,1
Muskel/Skelett	180,2	272,4	339,7	410,3	508,2	597,6	712,3	935,4	1421,9	1553,2

Abbildung 54: Datenbasis für die Darstellung altersabhängiger Arbeitsunfähigkeitsursachen in Abbildung 9 in Abhängigkeit vom Lebensalter im Jahr 2001 (siehe VETTER 2003, S. 255)

Arbeitsunfähigkeitstage je 100 AOK-Mitglieder und Krankheitsursache	Alterskohorten (in Jahren)									
	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	50-54	55-59	60-64
Sonstige	362,3	381,8	364,8	388,6	444,9	537,0	668,1	847,2	1119,7	1306,7
Verdauung	154,1	149,3	113,9	104,9	112,3	122,1	137,4	156,1	185,6	193,8
Psyche	55,6	89,1	106,6	129,7	158,1	182,8	201,1	233,6	276,3	262,8
Atemwege	334,2	304,5	252,2	245,9	242,0	236,4	238,8	261,5	306,2	325,8
Verletzungen	323,2	277,6	228,8	224,9	244,1	257,6	268,3	292,4	338,6	351,1
Herz/Kreislauf	24,7	28,4	31,5	40,3	61,0	95,9	155,5	252,0	408,4	543,5
Muskel/Skelett	134,2	189,4	229,7	304,2	401,7	491,1	591,9	739,4	1001,6	1182,5

Abbildung 55: Abgleich mit den altersabhängigen Arbeitsunfähigkeitsursachen in Abhängigkeit vom Lebensalter im Jahr 2007 (siehe HEYDE U. A. 2009, S. 236)

Arbeitsunfähigkeit nach ICD-Hauptgruppen	ICD-Code	AOK gesamt		AOK Verarbeitendes Gewerbe	AOK Metallindustrie
		Tage in %	Fälle in %	Tage in %	Tage in %
Muskel/Skelett	M00-M99	24,20%	17,70%	26,20%	25,20%
Herz/Kreislauf	I00-I99	6,90%	4,40%	7,50%	7,40%
Verletzungen/Vergiftungen	S00-T98	12,80%	9,40%	13,00%	13,70%
Atemwege	J00-J99	12,40%	22,20%	11,20%	12,40%
Verdauung	K00-K93	6,50%	11,80%	6,30%	6,40%
Psyche	F00-F99	8,20%	4,20%	7,20%	7,00%
Sonstige		29,00%	30,30%	28,60%	27,90%

Abbildung 56: Arbeitsunfähigkeitsursachen Versicherter der Allgemeinen Ortskrankenkassen (AOK) insgesamt und in ausgewählten Branchen im Jahr 2007 (siehe HEYDE U. A. 2009)

Arbeitsunfähigkeit nach ICD-Hauptgruppen	ICD-Code	BKK gesamt		BKK Metallverarbeitung	BKK Sonstige Verarbeiter
		Tage in %	Fälle in %	Tage in %	Tage in %
Muskel/Skelett	M00-M99	26,40%	17,40%	29,70%	29,13%
Herz/Kreislauf	I00-I99	4,50%	2,70%	4,99%	4,30%
Verletzungen/Vergiftungen	S00-T98	14,50%	9,20%	15,24%	19,24%
Atemwege	J00-J99	15,70%	28,80%	15,76%	14,28%
Verdauung	K00-K93	6,70%	13,30%	6,94%	7,00%
Psyche	F00-F99	9,30%	3,70%	6,79%	6,05%
Sonstige		22,90%	24,90%	20,57%	19,99%

Abbildung 57: Arbeitsunfähigkeitsursachen Versicherter von Betriebskrankenkassen (BKK) insgesamt und in ausgewählten Branchen im Jahr 2007 (siehe ZOIKE U. A. 2009)

Arbeitsunfähigkeit nach häufigsten Einzelbefunden	ICD-Code	Fälle je 1.000 Beschäftigte				Tage je 1.000 Beschäftigte			
		BKK	AOK	BKK + AOK	in %	BKK	AOK	BKK + AOK	in %
1 Rückenerkrankungen	(ICD M51 + M53 + M54)	87,15	128,49	107,82	11,37%	1474,22	1.742,00	1.608,11	14,39%
2 Akute Atemwegsinfekte	(ICD J03 b+ J06 + J20)	130,3	110,14	120,21	12,68%	817,14	771,01	794,08	7,10%
3 Psychische Erkrankungen	(ICD F32 + F43 + F48)	23,61	24,00	23,81	2,51%	753,99	575,19	664,59	5,95%
4 Fuß-, Bein-, Knieverletzungen & -erkrankungen	(ICD M23 + S83 + M17 + S93 + S82)	25,44	19,76	22,60	2,38%	727,07	345,11	536,09	4,80%
5 Äußere Verletzungen	(ICD T14)	16,05	21,18	18,62	1,96%	234,92	230,08	232,50	2,08%
6 Sonstige Magen-Darm-Krankheiten	(ICD K52)	47,23	50,83	49,03	5,17%	229,09	213,64	221,37	1,98%
7 Schulterläsionen	(ICD M75)	7,34	11,30	9,32	0,98%	185,2	246,51	215,86	1,93%
8 Allgemeine Bronchitis	(ICD J40)	28,66	32,48	30,57	3,22%	201,52	213,64	207,58	1,86%
9 Sonstige Sehnenentzündungen	(ICD M77)	8,61	11,30	9,96	1,05%	156,49	164,34	160,42	1,44%
10 Magen-Darminfekte	(ICD A09)	31,04	36,71	33,88	3,57%	149,2	147,91	148,56	1,33%
11 Sonstige Infekte	(ICD B34)	21,59	21,18	21,39	2,25%	128,08	98,60	113,34	1,01%

Abbildung 58: Datenbasis für Abbildung 17 und Tabelle 4: Arbeitsunfähigkeitstage und -fälle zu den häufigsten Einzelbefunden jeweils umgerechnet auf 1.000 AOK- und BKK-Versicherte im Jahr 2007 (aus HEYDE U. A. 2009 und ZOIKE U. A. 2009)

	BKK	AOK	BKK+AOK
Anzahl Versicherter gesamt	13.778.543	24.490.589	38.269.132
Beschäftigte Versicherte			
- inkl. freiwillig versicherter			
- ohne Angehörige und Rentner	7.312.203	9.807.400	17.119.603
Arbeitsunfähigkeitsfälle gesamt ¹	6.103.500	34.482.749	40.586.249
Arbeitsunfähigkeitstage gesamt ¹	73.698.051	398.780.261	472.478.312

Abbildung 59: Basisdaten für die Auswertungen von Krankheitsdaten und Fehlzeiten von AOK- und BKK-Versicherten (Quelle: HEYDE U. A. 2009² und ZOIKE U. A. 2009)

² AOK-Zahlen hochgerechnet von Tages- und Fallzahlen je 100 Versicherter.

10.4 Beispielarbeitsplatzbewertungen

Kritische Belastungen gemäß ABATech-Merkmalen	1. Standmontage	2. Reihensmontage	3. Kont. Fließmontage
	Nutzfahrzeugbau Quelle: ZAH U. A. 2004	Elektrokleingeräte Quelle: MARKUČIK 2008	Automobilbau Quelle: MOHRLANG 2005
01 Arbeitshöhe im Stehen	g	g	y
nicht variabel, aber zwischen 85 und 120 cm			
variabel zwischen 85 und 120 cm	x	x	
zwischen 55 und 85cm oder 120 und 155cm			x
02 Belastung des Nackens	g	g	y
keine Belastung des Nackens			
statische Belastung und erhebliche Auslenkung	5%	5%	30%
03 Arbeiten über Schulterhöhe	g	g	r
keine Arbeiten über Schulterhöhe	x	x	
Arbeiten über Schulterhöhe			50%
04 Beweglichkeit des Rumpfes	g	g	y
Drehen < 15° und/oder Beugen 15° bis < 30°	30%	30%	60%
Drehen ≥ 15° und/oder Beugen ≥ 30° bis 90°	5%	30%	5%
05 Beweglichkeit der Arme (einschließlich Schultergelenk)	y	y	g
nur geringe Beweglichkeit erforderlich			
Bewegung erforderlich im Greifraum >60cm	30%	15%	5%
06 Muskelbelastung der Arme und des Schultergürtels	y	g	g
keine Belastung vorhanden			
Hantieren mit Kraftaufwand 25 bis < 80N (Stehen) 10 bis <40N (Sitzen)	10%	10%	10%
Hantieren mit Kraftaufwand 80 bis < 120N (Stehen) 40 bis <70N (Sitzen)	30%	0%	0%
Hantieren mit Kraftaufwand ≥ 180N	5%	0%	0%
07 Belastung der Unterarme und Handgelenke	y	g	y
keine Belastung vorhanden			
geringe Belastung	30%	10%	30%
mittlere Belastung	10%	0%	10%
hohe Belastung			
08 Belastung der Finger	g	y	g
Feinmotorik erforderlich	nein	ja	nein
geringe Belastung	10%	10%	10%
mittlere Belastung		30%	
hohe Belastung			
09 Beweglichkeit der Kniegelenke	y	g	r
nur geringe Beweglichkeit erforderlich	x	x	x
volle Beweglichkeit erforderlich	x		x
10 Stehen, Gehen, Sitzen	y	g	y
Stehen	60%	10%	60%
Gehen	40%	10%	40%
Sitzen	0%	80%	0%
11 Handhaben von Lasten	y	g	g
Risikokennzahl	30	0	25
12 Lärm	g	g	g
kleiner 80dB	x	x	x
13 Klima (Jahresbetrachtung)	g	g	y
Klima außerhalb des Behaglichkeitsbereiches < 2 Wochen	x	x	x
Klima außerhalb des Behaglichkeitsbereiches 2 bis 8 Wochen			x
14 Beleuchtung	g	g	g
entspricht der Arbeitsaufgabe voll	x	x	x
15 Gefahrstoffe im Arbeitsbereich	g	g	g
Gefahrstoffe sind nicht vorhanden	x	x	x
16 Nässe	g	g	g
keine Belastung durch Nässe	x	x	x
17 Taktabhängiger Arbeitsplatz	g	g	g
keine Taktbindung			
weite Taktbindung	x	x	x
18 Informationsaufnahme	y	g	g
Informationsmenge ist klein		x	x
Informationsmenge ist groß	x		
Informationsstruktur ist gut	x	x	x
19 Unfallgefahren am Arbeitsplatz	g	g	g
20 Schichteinsatzfähigkeit	g	g	g
21 Fahr- und Steuertätigkeit	g	g	g

Abbildung 60: ABATech Bewertung der ausgewählten Beispielarbeitsplätze

IMBA Merkmale (Bewertung von -5 = Unterforderung bis +5 = Überforderung)	1. Standmontage	2. Reihenmontage	3. Kont. Fließmontage
	Nutzfahrzeugbau Quelle: ZAH u. A. 2004	Elektrokleingeräte Quelle: MARKUCIK 2008	Automobilbau Quelle: MOHRLANG 2005
1 Körperhaltung	1,0	-0,2	0,3
Sitzen	2	1	0
Stehen	2	-2	0
Knien/Hocken	1	0	1
Liegen	-2	-2	-2
Geneigt/Gebückt	1	1	1
Arme in Zwangshaltung	2	1	2
2 Körperfortbewegung	0,3	0,0	0,3
Stehen/Steigen	1	0	1
Klettern	0	0	0
Kriechen/Rutschen	0	0	0
3 Körperteilbewegung	1,0	0,4	0,6
Kopf-/Halsbewegungen	1	1	1
Rumpfbewegungen	1	1	1
Armbewegungen	1	0	1
Hand-/Fingerbewegungen	1	1	0
Bein-/Fußbewegungen	1	-1	0
4 Infortmation	0,1	-0,5	-0,4
Sehen	0	0	0
Hören	0	-1	0
Lautabgabe/Sprechen	1	0	0
Tasten/fühlen	1	1	0
Bewegungs- und Stellungsempfinden	1	0	1
Gestik/Mimik	0	-2	-2
Riechen/Schmecken	-3	-3	-3
Lesen	1	0	0
Rechnen	0	0	0
Schreiben	0	0	0
5 Komplexe Merkmale	1,0	-0,5	0,5
Heben	2	-1	0
Tragen	2	-1	0
Schieben/Ziehen	0	-1	0
Physische Ausdauer	0	0	1
Gleichgewicht	1	-1	1
Feinmotorik	1	1	1
6 Umgebungseinflüsse	0,0	0,0	0,0
Klima	0	0	0
Schall/Lärm	0	0	0
Vibrationen/Erschütterung	0	0	0
Licht/Beleuchtung	0	0	0
Nässe/Schmutz	0	0	0
Gase/Dämpfe/Stübe	0	0	0
Flüssigkeiten/Feststoffe	0	0	0
7 Arbeitssicherheit	0	0	0
Unfallgefahren	0	0	0
Tragen von Arbeitsschutzmitteln	0	0	0
8 Arbeitsorganisation	0	0	0
Arbeitszeit pro Tag	0	0	0
Schichtarbeit	0	0	0
Nachtarbeit	0	0	0
Akkord-/Prämienlohn	0	0	0
Taktgebundener Arbeitsplatz	0	0	0
Isolierter Arbeitsplatz	0	0	0
In räumlicher Gemeinschaft	0	0	0
9 Schlüsselqualifikationen	1	-1	1

Abbildung 61: IMBA Bewertung der ausgewählten Beispielarbeitsplätze

10.5 Ermittlung der Risikozahl der Lastenhandhabung

Beurteilung von Lastenhandhabungen anhand von Leitmerkmalen Version 2001
 Die Gesamttätigkeit ist ggf. in Teiltätigkeiten zu gliedern. Jede Teiltätigkeit mit erheblichen körperlichen Belastungen ist getrennt zu beurteilen.

Arbeitsplatz/Teiltätigkeit:





1. Schritt: Bestimmung der Zeitwichtung (Nur eine zutreffende Spalte ist auswählen!)

Hebe- oder Umschlagvorgänge (< 5 s)		Halten (> 5 s)		Tragen (> 5 m)	
Anzahl am Arbeitstag	Zeitwichtung	Gesamtdauer am Arbeitstag	Zeitwichtung	Gesamtweg am Arbeitstag	Zeitwichtung
< 10	1	< 5 min	1	< 300 m	1
10 bis < 40	2	5 bis 15 min	2	300 m bis < 1 km	2
40 bis < 200	4	15 min bis < 1 Stunde	4	1 km bis < 4 km	4
200 bis < 500	6	1 Stunde bis < 2 Stunden	6	4 bis < 8 km	6
500 bis < 1000	8	2 Stunden bis < 4 Stunden	8	8 bis < 16 km	8
≥ 1000	10	≥ 4 Stunden	10	≥ 16 km	10
Beispiele: • Setzen von Mauersteinen, • Einlegen von Werkstücken in eine Maschine, • Pakete aus einem Container entnehmen und auf ein Band legen		Beispiele: • Halten und Führen eines Gussrohrlings bei der Bearbeitung an einem Schleifbock, • Halten einer Handschleifmaschine, • Führen einer Motorsense		Beispiele: • Möbeltransport, • Tragen von Gerüstteilen vom Lkw zum Aufstellort	

2. Schritt: Bestimmung der Wichtungen von Last, Haltung und Ausführungsbedingungen

Wirksame Last ¹⁾ für Männer	Lastwichtung	Wirksame Last ¹⁾ für Frauen	Lastwichtung
< 10 kg	1	< 5 kg	1
10 bis < 20 kg	2	5 bis < 10 kg	2
20 bis < 30 kg	4	10 bis < 15 kg	4
30 bis < 40 kg	7	15 bis < 25 kg	7
≥ 40 kg	25	≥ 25 kg	25

1) Mit der "wirksamen Last" ist die Gewichtskraft bzw. Zug-/Druckkraft gemeint, die der Beschäftigte tatsächlich bei der Lastenhandhabung ausgleichen muss. Sie entspricht nicht immer der Lastmasse. Beim Kippen eines Kartons wirken nur etwa 50 %, bei der Verwendung einer Schubkarre oder Sackkarre nur 10 % der Lastmasse.

Charakteristische Körperhaltungen und Lastposition ²⁾	Körperhaltung, Position der Last	Haltungswichtung
	<ul style="list-style-type: none"> Oberkörper aufrecht, nicht verdreht Last am Körper 	1
	<ul style="list-style-type: none"> geringes Vorneigen oder Verdrehen des Oberkörpers Last am Körper oder körpfernah 	2
	<ul style="list-style-type: none"> tiefes Beugen oder weites Vorneigen geringe Vorneigung mit gleichzeitigem Verdrehen des Oberkörpers Last körfern oder über Schulterhöhe 	4
	<ul style="list-style-type: none"> weites Vorneigen mit gleichzeitigem Verdrehen des Oberkörpers Last körfern eingeschränkte Haltusstabilität beim Stehen Hocken oder Knien 	8

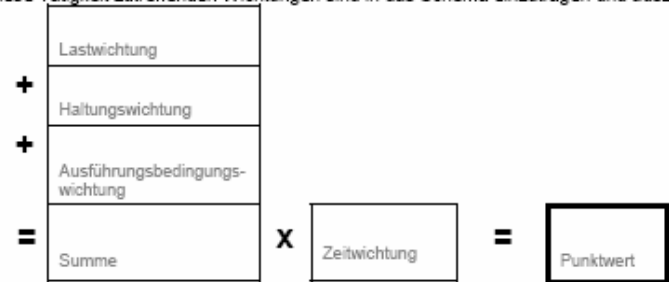
2) Für die Bestimmung der Haltungswichtung ist die bei der Lastenhandhabung eingenommene charakteristische Körperhaltung einzusetzen; z.B. bei unterschiedlichen Körperhaltungen mit der Last sind mittlere Werte zu bilden - keine gelegentlichen Extremwerte verwenden!

Abbildung 62: Teil 1 der Leitmerkmalsmethode zur quantitativen Beurteilung der Handhabung von Lasten (PERNACK U. A. 2001)

Ausführungsbedingungen	Ausf.-wichtung
Gute ergonomische Bedingungen, z. B. ausreichend Platz, keine Hindernisse im Arbeitsbereich, ebener rutschfester Boden, ausreichend beleuchtet, gute Griffbedingungen	0
Einschränkung der Bewegungsfreiheit und ungünstige ergonomische Bedingungen (z.B. 1.: Bewegungsraum durch zu geringe Höhe oder durch eine Arbeitsfläche unter 1,5 m ² eingeschränkt oder 2.: Standsicherheit durch unebenen, weichen Boden eingeschränkt)	1
Stark eingeschränkte Bewegungsfreiheit und/oder Instabilität des Lastschwerpunktes (z.B. Patiententransfer)	2

3. Schritt: Bewertung

Die für diese Tätigkeit zutreffenden Wichtungen sind in das Schema einzutragen und auszurechnen.



Anhand des errechneten Punktwertes und der folgenden Tabelle kann eine grobe Bewertung vorgenommen werden.³⁾ Unabhängig davon gelten die Bestimmungen des Mutterschutzgesetzes.

Risikobereich	Punktwert	Beschreibung
1	< 10	Geringe Belastung, Gesundheitsgefährdung durch körperliche Überbeanspruchung ist unwahrscheinlich.
2	10 bis < 25	Erhöhte Belastung, eine körperliche Überbeanspruchung ist bei vermindert belastbaren Personen ⁴⁾ möglich. Für diesen Personenkreis sind Gestaltungsmaßnahmen sinnvoll.
3	25 bis < 50	Wesentlich erhöhte Belastung, körperliche Überbeanspruchung ist auch für normal belastbare Personen möglich. Gestaltungsmaßnahmen sind angezeigt. ⁵⁾
4	≥ 50	Hohe Belastung, körperliche Überbeanspruchung ist wahrscheinlich. Gestaltungsmaßnahmen sind erforderlich. ⁵⁾

³⁾ Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass mit steigenden Punktwerten die Belastung des Muskel-Skelett-Systems zunimmt. Die Grenzen zwischen den Risikobereichen sind aufgrund der individuellen Arbeitstechniken und Leistungsvoraussetzungen fließend. Damit darf die Einstufung nur als Orientierungshilfe verstanden werden.
⁴⁾ Vermindert belastbare Personen sind in diesem Zusammenhang Beschäftigte, die älter als 40 oder jünger als 21 Jahre alt, "Neulinge" im Beruf oder durch Erkrankungen leistungsgemindert sind.
⁵⁾ Gestaltungserfordernisse lassen sich anhand der Punktwerte der Tabellen ermitteln. Durch Gewichtsverminderung, Verbesserung der Ausführungsbedingungen oder Verringerung der Belastungszeiten können Belastungen vermieden werden.

Überprüfung des Arbeitsplatzes aus sonstigen Gründen erforderlich:

Begründung: _____

Datum der Beurteilung: _____ Beurteilt von: _____

Herausgeber: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Postfach 17 02 02, 44061 Dortmund
 Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (LASI), Franz-Josef-Roeder-Str. 23, 66119 Saarbrücken

Abbildung 63: Teil 2 der Leitmerkmalsmethode zur quantitativen Beurteilung der Handhabung von Lasten (PERNACK U. A. 2001)

10.6 Vollständige Integrations-Checklisten

Integrations-Checkliste: Teil 1 "Zielgerichtete Einleitung von Integrationsmaßnahmen"		
Fragebogennummer: _____	Arbeitsplatz / Arbeitssystem: _____	
Beschreibung der Ausgangssituation für Integrationsmaßnahmen		
1. Charakterisieren Sie das betroffene Montagesystem bzw. die betroffenen Arbeitsplätze:		
Betrachtungsgegenstand:	<input type="checkbox"/> Einzelarbeitsplatz <input type="checkbox"/> Arbeitsgruppe oder Montagesystem <input type="checkbox"/> Montage- oder Werksbereich	
Produktionsart:	<input type="checkbox"/> Einzelfertigung <input type="checkbox"/> Serienfertigung <input type="checkbox"/> Massenfertigung	
Komplexität & Baugröße des Werkstücks:	<input type="checkbox"/> gering / klein <input type="checkbox"/> mittel <input type="checkbox"/> hoch / groß	
Montageorganisationsform:	<input type="checkbox"/> Einzelplatz / Inselmontage <input type="checkbox"/> Reihenmontage <input type="checkbox"/> Kombinierte Fließmontage <input type="checkbox"/> Taktstraßenmontage	
Arbeitsorganisation:	<input type="checkbox"/> fest zugeordnet <input type="checkbox"/> Wechsel möglich	
Automatisierungsgrad:	<input type="checkbox"/> gering <input type="checkbox"/> mittel <input type="checkbox"/> hoch	
Verkettung:	<input type="checkbox"/> keine <input type="checkbox"/> lose / flexibel <input type="checkbox"/> starr	
2. Nennen Sie den Ausgangspunkt bzw. die Motivation für weitergehende Integrationsmaßnahmen:		
1. Können Beschäftigte mit irreversiblen Einzeleinschränkungen nicht mehr adäquat eingesetzt werden?	<input type="checkbox"/>	
2. Können Beschäftigte mit Einzeleinschränkungen am angestammten Platz / System nicht mehr eingesetzt werden und zeigen die Arbeitsplatzbewertungen kritische Belastungen?	<input type="checkbox"/>	
3. Können trotz ergonomischer Gestaltung kritische Belastungen in der Arbeitsplatzbewertung der Neuplanung nicht vollständig vermieden werden und sollen zukünftig auch Mitarbeiter mit Einzeleinschränkungen eingesetzt werden können?	<input type="checkbox"/>	
4. Zeigen die Arbeitsplatzbewertung im Rahmen der Überprüfung kritische Belastungen und ist die Beschäftigung von leistungsgewandelten Mitarbeitern geplant / erforderlich?	<input type="checkbox"/>	
5. Zeigen Mitarbeiter verminderte Leistung aufgrund kritischer Belastungen?	<input type="checkbox"/>	
6. Sonstiges: _____	<input type="checkbox"/>	
3. Prüfen Sie die Vorarbeiten:		
Liegen die Arbeitsvorgangsbeschreibungen vollständig und aktuell vor?	<input type="checkbox"/>	
Liegen CAD-Modelle der Arbeitsplätze vor?	<input type="checkbox"/> 2 D <input type="checkbox"/> 3 D	
Liegen die Arbeitsplatzbewertungen vollständig und aktuell vor?	<input type="checkbox"/>	
Liegen die Einzeleinschränkungen vollständig und aktuell vor?	<input type="checkbox"/>	
Erfolgte die Gestaltung der Arbeitsplätze bewusst nach den Kriterien der Ergonomie?	<input type="checkbox"/>	
Wurden die Umgebungsbedingungen (Klima, Lärm, Beleuchtung, Nässe, Gefahrstoffe, Unfallgefahren usw.) überprüft?	<input type="checkbox"/>	
Resultieren daraus kritische Belastungen oder Einzeleinschränkungen?	<input type="checkbox"/>	
Wurde gezielt auf eine alter(n)sgerechte Arbeitsgestaltung geachtet?	<input type="checkbox"/>	
Handlungsbedarf und weiteres Vorgehen		
4. Bestimmen Sie den Integrationsbedarf für leistungsgewandelte Mitarbeiter:		
a) Wie hoch ist der Anteil leistungsgewandelter Mitarbeiter im Erfassungsbereich?	_____ %	
b) Wieviele können davon gegenwärtig nicht adäquat eingesetzt werden? (Absoluter Anteil)	_____ %	
c) Wieviele Leistungsgewandelte können (noch) im betrachteten Bereich (siehe 1.) arbeiten? (Anteil der integrationsfreundlichen Arbeitsplätze an der Gesamtzahl im Betrachtungsbereich)	_____ %	
Liegt der Beschäftigungsanteil Leistungsgewandelter (s. 4.c) unter deren Häufigkeit (s. 4.a)?	<input type="checkbox"/>	
5. Definieren Sie Ziele für das weitere Vorgehen:		
1. Wieviele Leistungsgewandelte sollen zukünftig beschäftigt werden können?	<input type="checkbox"/> _____	
Welche weiteren Ziele sollen erreicht werden:	2. _____ 3. _____ 4. _____	
Sind die Ziele "smart" (spezifisch, messbar, ambitioniert, realistisch und terminiert)?	<input type="checkbox"/>	
6. Nennen Sie die kritischen Belastungen beziehungsweise die diagnostizierten Einzeleinschränkungen:		
<input type="checkbox"/> Handhaben von Lasten (Nr. 11)	<input type="checkbox"/> Stehen, Gehen, Sitzen (Nr. 10)	<input type="checkbox"/> Taktbindung (Nr. 17)
<input type="checkbox"/> Beweglichkeit des Rumpfes (Nr. 4)	<input type="checkbox"/> Beweglichkeit des Rumpfes (Nr. 4)	<input type="checkbox"/> Informationsaufnahme (Nr. 18)
<input type="checkbox"/> Arbeiten über Schulterhöhe (Nr. 3)	<input type="checkbox"/> Beweglichkeit der Kniegelenke (Nr. 9)	<input type="checkbox"/> Sonstige: _____
<input type="checkbox"/> Muskelbelastung der Arme (Nr. 6)	<input type="checkbox"/> Arbeitshöhe (Nr. 1)	_____
<input type="checkbox"/> Sonstige: _____	<input type="checkbox"/> Arbeiten über Schulterhöhe (Nr. 3)	_____
_____	<input type="checkbox"/> Sonstige: _____	_____
_____	_____	_____
▽	▽	▽
7. Prüfen Sie		
den erweiterten Einsatz von Handhabungshilfsmitteln	Maßnahmen zur Haltungsoptimierung und -unterstützung	strukturelle Maßnahmen zur Leistungsflexibilisierung
Verwenden Sie dazu Teil 2.1 <input type="checkbox"/>	Teil 2.2 <input type="checkbox"/>	Teil 2.3 <input type="checkbox"/>
der Integrationscheckliste und schließen Sie die Integrationsmaßnahmen mit Teil 3 ab!		

Integrations-Checkliste: Teil 2.1 "Handhabungsmiteinsatz"

Fragebogennummer: _____ Arbeitsplatz: _____

Beschreibung des Ist-Zustandes der manuellen Handhabung

Quantifizieren Sie den kritischen Lastfall entsprechend der Risikozahl (RKZ) der Arbeitsplatzbewertung:

Gesamtakt: _____ s Handhabungsgewicht: < 8 kg > < 20 kg >
 Handhabungszeit: _____ s Anzahl der Hebevorgänge pro Takt: _____
 Schichtanzahl: _____ Anzahl der Hebevorgänge pro Schicht: _____
Risikozahl (RKZ): _____ **Lastfall:** grün (< 25) gelb (25 bis 50) rot (> 50)

Quantifizieren Sie die attestierten Einsatzeinschränkungen (u. a. mit Hilfe der Risikozahl):

kein Heben und Tragen möglich RKZ < 10 zulässig RKZ < 25 zulässig RKZ < 50 zulässig

Treten weitere relevante Einschränkungen oder kritische Belastungen auf, wie "Beweglichkeit des Rumpfes", "Muskelbelastung der Arme & Schulter" oder "Arbeiten über Schulterhöhe"?

Sonstiges: _____

Antwort Bemerkung

1. Skizzieren Sie die kritischen Handhabungsabläufe und die dabei auftretenden Körperhaltungen:

Draufsicht: _____ ggf. Seitenansicht(en) oder Fotografie(n): _____

Markieren Sie insbesondere: Lage & Zugänglichkeit der Montageobjekte (M1 ... Mi)
 Lage & Zugänglichkeit zu den bereitgestellten Materialien (B1 ... Bj)
 ggf. Lage & Zugänglichkeit der Verkettungs- / Weitergabemittel (V1 ... Vk)
 ggf. Lage & Zugänglichkeit von Werkzeugen oder weiterer Hilfsmittel (W1 ... Wl)
 ggf. Lage & Einsehbarkeit der Informationsbereitstellung

2. Beschreiben Sie (quantitativ) den Bewegungsablauf:

a) Aufnahme- und Zielposition (Lageänderung):
 minimale Aufnahmehöhe (Unterkante): _____ mm < 560 mm
 maximale Aufnahmehöhe: _____ mm > 1350 mm
 minimaler horizontaler Verschiebeweg: _____ mm
 maximaler horizontaler Verschiebeweg: _____ mm > 600 mm
 minimale Ablagehöhe (Unterkante): _____ mm < 560 mm
 maximale Ablagehöhe: _____ mm > 1350 mm
 freie Raumhöhe: _____ mm

Orientierungsänderung:
 Drehen: _____ Grad Schwenken: _____ Grad
 Wenden: _____ Grad Neigen: _____ Grad
 Auslenkung aus Schwerpunktlage

b) Weitergehende Aufgaben:
 Sichtprüfung der Bauteile Überwachung des Fügevorgangs
 Sonstige: _____

3. Bestimmen Sie die Objekteigenschaften:

Objekthauptform:
 rund rechteckig sperrig-groß stabförmig / Langgut
Hauptwerkstoff: _____
Oberfläche: _____
besondere (kritische) Eigenschaften für Greifvorgang:
 kratzempfindlich wenig Flächenpressung Explosionsgefahr
 naß oder ölig biegeschlaff, instabil aggressiver Stoff
 ferromagnetisch porös, durchbrochen EMV / Restmagnetisierung kritisch

4. Definieren Sie die Greif- bzw. Aufnahmebedingungen & Abgabebedingungen:

Besondere / Eingeschränkte Zugänglichkeit bei Aufnahme? _____
 Besondere / Eingeschränkte Zugänglichkeit bei Abgabe? _____
 Erforderliche Positioniergenauigkeit bei Aufnahme? _____
 Erforderliche Positioniergenauigkeit bei Abgabe? _____
 Montageobjekt (d. h. Aufnahme- und / oder Ablageort) ist bewegt

Beschreiben Sie potenzielle Greifflächen: _____

Anzahl Varianten: _____
 Greifmaß (variantenabhängig):
 radial (r) / lateral (x) [in mm] min _____ max _____ innen außen
 lateral (y) [in mm] min _____ max _____ innen außen
 vertikal (z) [in mm] min _____ max _____ innen außen
 Gewicht [in kg] min _____ mittel _____
 Nennen Sie kritische / funktionssensible Bauteilbereiche: Gewindebohrungen variabel je Variante

Anzahl Materialquellen: _____
 Welche Toleranzen liegen bei der Aufnahme vor? Passung Wurfpassung freie Lage

Anzahl Materialsenken: _____
 Welche Toleranzen liegen bei der Abgabe vor? Passung Wurfpassung freie Lage

Beurteilung der technischen Realisierbarkeit eines Manipulators oder eines Handhabungshilfsmittels	
5. Prüfen Sie die Voraussetzungen für den Einsatz von Handhabungshilfsmitteln:	
<p>1. <input type="checkbox"/> Liegen mehrere der aufgeführten Einsatzhemmnisse vor?</p> <p>2. <input type="checkbox"/> Ist die Risikozahl (RKZ) größer als 25?</p> <p>3. <input type="checkbox"/> Liegt das Handhabungsgewicht über 8 kg?</p> <p>4. <input type="checkbox"/> Überschreiten die Aufnahme- oder Ablagehöhen beziehungsweise der Greifweg die Empfehlungen für ältere Mitarbeiter?</p> <p>5. <input type="checkbox"/> Beinhaltet der Handhabungsvorgang eine Orientierungsänderung aus der Schwerpunktlage heraus?</p> <p>6. <input type="checkbox"/> Dominiert die Handhabungszeit (zeitlich) den gesamten Arbeitstakt?</p> <p>7. <input type="checkbox"/> Bestehen prinzipiell Anbringungsmöglichkeiten für Handhabungshilfsmittel und keine gravierenden Hindernisse?</p> <p>8. <input type="checkbox"/> Weist das Bauteil keine oder kaum besondere Greifanforderungen auf?</p> <p>9. <input type="checkbox"/> Sind die Greif- sowie Auf- und Abnahmebedingungen zwischen den Varianten ähnlich?</p> <p><u>Empfehlungen für die Auswahl des Handhabungshilfsmittels:</u></p> <p>a) Wenn mehr als fünf dieser Fragen mit "Ja" beantwortet werden, sollte der Einsatz von Manipulatoren näher geprüft werden!</p> <p>b) Wenn insbesondere 1. und 3. erfüllt werden (nicht aber 2. und 6.) sollte zunächst nach einfachen mechanische Hilfsmitteln gesucht werden!</p> <p><u>Empfehlungen für die Auswahl der Manipulatorausführung (v.a. Kinematik und Greifsystem):</u></p> <p>c) Ist die exakte Beibehaltung oder präzise Veränderung einer Orientierung notwendig, sollten Sie Stabmanipulatoren verwenden! Wenn keine exakte Orientierungen nötig sind, sollten Sie Seil- oder Kettenmanipulatoren bevorzugen!</p> <p>d) Die Berücksichtigung von Hubschlauchsystemen empfiehlt sich erst bei Gewichten deutlich über 8 kg und vor allem wenn großflächige vorwiegende ebene Bauteile / Materialien zu handhaben sind!</p> <p>e) Bevorzugen Sie bei nur geringfügig variierenden Handhabungsgewichten (z.B. +/- 1 kg) eine feste vordefinierte Kräfteinstellung (auf das Maximalgewicht)! Ein leichter Zug nach unten durch einfaches Aufstützen reicht zum Ausgleichen und eliminiert die Einregelungszeit. Alternativ ist zu prüfen, ob das zu kompensierende Gewicht nicht mit ohnehin vorliegenden Daten der Steuerung voreingestellt werden kann!</p>	
6. Treffen Sie eine Vorauswahl bezüglich der grundlegenden Manipulatorgestaltung:	
Ausführungsform:	<input type="checkbox"/> Seil- / Kettenmanipulator <input type="checkbox"/> Gelenkarmmanipulator <input type="checkbox"/> Hubschlauchsystem <input type="checkbox"/> Sonstige: _____
Grundkinematik:	<input type="checkbox"/> Karthesisch <input type="checkbox"/> Zylindrisch <input type="checkbox"/> Sonstige: _____
Kraftausgleich / Steuerung:	<input type="checkbox"/> Kraftgeregelt (Balancer) <input type="checkbox"/> Gesteuert (Balancer) <input type="checkbox"/> Sonstige: _____
Greifprinzip:	<input type="checkbox"/> Mechanisch <input type="checkbox"/> (elektro-) magnetisch <input type="checkbox"/> pneumatisch <input type="checkbox"/> Sonstige: _____

Steigerung der Akzeptanz des Hilfsmitelesinsatzes und Lösungsmöglichkeiten	
7. Erweitern / Steigern Sie die Wirkung des Manipulators:	
Frage Können zusätzlich durchzuführende Tätigkeiten (siehe 2.b) in den Manipulator oder Manipulationsvorgang integriert werden werden?	Antwort, ggf. zuzüglich Bemerkung oder Lösungsidee
Ist Mehrfachgreifen / -handling manuell möglich?	
Ist Mehrfachgreifen / -handling mit Manipulator realisierbar? Beachten Sie Bauteilvarianten und die Bereitstellung!	
Sind (definierte) Fügekräfte aufzubringen?	
Können der Manipulator oder der Greifer diese aufbringen?	
Sind Qualitätsrestriktionen vorhanden?	
Kann der Manipulatoreinsatz die Prozesssicherheit oder die Qualität steigern?	
8. Reduzieren Sie die Verlustzeiten:	
Frage Lässt sich das Bauteil selbstbetätigend (mechanisch) greifen und auch wieder abgeben?	Antwort, ggf. zuzüglich Bemerkung oder Lösungsidee
Ist eine schnelle automatische (haptische) Werkerrückinformation realisierbar?	
Muss der Manipulator über eine weitere Strecke (> 600 mm) ohne Last zurückgeführt werden? Ist eine automatisierte Rückführung des Manipulators (zu einer def. Position) realisierbar?	
9. Erweitern / Steigern Sie die Beweglichkeit des Mitarbeiters mit dem Manipulator:	
Frage Entspricht die Grundkinematik dem Bewegungsablauf?	Antwort, ggf. zuzüglich Bemerkung oder Lösungsidee
Werden zusätzliche Hauptachsen beschleunigt?	
Schränkt der Manipulator die Bewegungsfreiheit ein?	
Steigert die Einschränkung die Prozesssicherheit? Kann die Einschränkung beseitigt werden?	
10. Passen Sie das Umfeld dem Manipulatoreinsatz an:	
Frage Lassen sich die Materialquellen reduzieren? Haben die Materialquellen eine Pufferfunktion? Reicht diese auch für Mehrfachhandhabung aus? Lassen sich die Materialquellen vereinheitlichen? Sind alle Materialquellen und Ordnungszustände der Teile (ausreichend) eindeutig definiert? Können eventuell vorliegende Passungen (siehe 4.) reduziert werden? Lassen sich Fügehilfen oder komplizierte Systeme installieren?	Antwort, ggf. zuzüglich Bemerkung oder Lösungsidee
Ist eine Vergrößerung oder Verkleinerung der Anliefer- oder Abgabebebinde für den Manipulatoreinsatz hilfreich und ggf. wirtschaftlich?	
Kann die Erreichung der definierten Endlage durch Fixierungen oder Schablonen unterstützt werden? Ist eine Feinpositionierung über zusätzliche Achsen vorteilhaft realisierbar?	
Ist der Arbeits- und insbesondere der Positionierbereich für den Mitarbeiter / Bediener voll einsehbar?	
Ist eine gesteuerte oder sensorische (grobe oder feine) Endpositionserkennung oder -regelung notwendig?	
11. Passen Sie den Arbeitsablauf dem Manipulatoreinsatz an:	
Frage Ist für den gesamten Arbeitsablauf und insbesondere für die Handhabungstätigkeit ein eindeutiger und nachvollziehbarer Standard definiert? Sind Abweichungen davon bekannt oder denkbar? Sind die Abweichungen zeitlich vorteilhaft? Kann der Manipulator (möglichst) durchgehend ohne (vollständiges) Loslassen genutzt werden? Lässt sich der Manipulator bzw. der Greifer auf Beidhandbetrieb ausgelegt? Kann der Manipulator zum Zubringen weiterer (Klein-) Teile genutzt werden? Kann der Manipulator zum Entsorgen genutzt werden?	Antwort, ggf. zuzüglich Bemerkung oder Lösungsidee
12. Allgemeine Hinweise zur Ausführung und Gestaltung:	
Berücksichtigen Sie Aufwand und Nutzen: Eventuell steigern gerade Exotenbauteile, die für weniger als 20 % der Handhabungsvorgänge verantwortlich sind, den Konstruktionssaufwand für den Manipulator überdimensional und diese Lasten könnten auch manuell bewegt werden!	
Haben Sie den Einsatz alternativer mechanischer Hilfsmittel oder (Teil-) Automatisierungslösungen geprüft?	
Konzipieren Sie den gesamten Manipulator (inkl. Greifer und ggf. Werkzeuge) so leicht wie möglich, um Beschleunigungs- und Abbremszeiten zu minimieren und die Positioniergenauigkeit zu erhöhen!	
Verwenden Sie bevorzugt modulare, marktübliche Standardkomponenten und Systeme, um die spätere Erweiterbarkeit oder Anpassbarkeit an geänderte Abläufe oder Tätigkeiten, beispielsweise im Rahmen von Rationalisierungsmaßnahmen oder Produktänderungen zu ermöglichen!	

13. Skizzieren Sie Lösungen und Konzepte für einen ergonomischen und effizienten Handhabungsmiteinsatz:																										
Lösungsvorschlag:	ggf. Alternativen:																									
14. Prüfen Sie die Wirksamkeit der Lösungen:																										
Risikozahl (neu): _____	Lastfall (neu): <input type="checkbox"/> grün (< 25) <input type="checkbox"/> gelb (25 bis 50) <input type="checkbox"/> rot (> 50)																									
Reduzierung der weiteren kritischen Belastungen?	<table border="1" style="width: 100%;"><tr><td style="width: 50px; height: 20px;"></td><td></td></tr></table>																									
Sonstiges:	<table border="1" style="width: 100%;"><tr><td style="width: 50px; height: 20px;"></td><td></td></tr></table>																									
Können damit (mehr) leistungsgewandelte Mitarbeiter integriert werden?	<table border="1" style="width: 100%;"><tr><td style="width: 50px; height: 20px;"></td><td></td></tr></table>																									
Berücksichtigen Sie den erweiterten Lösungsraum zusammen mit anderen technisch-strukturellen Integrationsmaßnahmen!	<table border="1" style="width: 100%;"><tr><td style="width: 50px; height: 20px;"></td><td></td></tr></table>																									
Prüfung der technischen und baulichen Randbedingungen																										
15. Überprüfen Sie die Systemumgebung (Aufstellort):																										
Boden, Bodentragfähigkeit: _____ kg/m ²																										
Decken- oder Wandbefestigung:	<table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td></td> <td>sehr gut</td> <td>gut</td> <td>mäßig</td> <td>schlecht</td> </tr> <tr> <td>Zugänglichkeit:</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>baulicher Zustand:</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Belastbarkeit:</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> <tr> <td>Stahlbau nutzbar:</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td colspan="3">_____</td> </tr> </table>		sehr gut	gut	mäßig	schlecht	Zugänglichkeit:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	baulicher Zustand:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Belastbarkeit:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Stahlbau nutzbar:	<input type="checkbox"/>	_____		
	sehr gut	gut	mäßig	schlecht																						
Zugänglichkeit:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																						
baulicher Zustand:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																						
Belastbarkeit:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																						
Stahlbau nutzbar:	<input type="checkbox"/>	_____																								
statische Störkonturen:	<u>Werkzeugaufhängung und Beleuchtung</u>																									
dynamische Störkonturen:	<u>keine</u>																									
16. Überprüfen Sie die Arbeitssicherheit:																										
<input type="checkbox"/> Sicherheit bei Energieausfall durch:	_____																									
<input type="checkbox"/> Sicherheit bei Notabschaltung durch:	_____																									
<input type="checkbox"/> Beachtung besonderer Vorschriften:	_____																									
<input type="checkbox"/> Zuverlässigkeit:	_____																									
<input type="checkbox"/> Robustheit des Manipulators:	_____																									
<input type="checkbox"/> Sicherheit gegen vorzeitiges Greiferöffnen:	_____																									
<input type="checkbox"/> Sonderausstattung:	_____																									

Integrations-Checkliste: Teil 2.2 "Haltungsoptimierung & -unterstützung"

Fragebogennummer: _____ Arbeitsplatz: _____

Beschreibung des Ist-Zustandes (ohne Optimierung / Unterstützung)

Bestimmen Sie Grundhaltungsbedingungen und Zwangshaltungen entsprechend der Arbeitsplatzbewertung:

Gesamttakt: _____ s Schichtdauer: _____ min Schichtanzahl: _____

Erschwerte Bedingungen* bzw. Zwangshaltungen durch:**

Grundhaltungen:	Tragen von PSA	eingeeengte, schwingende, geneigte oder schlechte Stand- / Lauffläche	Störkonturen	Pedalbetätigungen	Sonstige
Anteil Stehen: _____ %	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Anteil Gehen: _____ %	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Anteil Sitzen: _____ %	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Anteil * & **: _____ %	Lastfall: <input type="checkbox"/> grün		<input type="checkbox"/> gelb	<input type="checkbox"/> rot	

Quantifizieren Sie die attestierten Einsatzbeschränkungen:

- | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> Stehen nur eingeschränkt möglich bis: _____ % der Schichtzeit | <input type="checkbox"/> Gehen nur eingeschränkt möglich bis: _____ % der Schichtzeit | <input type="checkbox"/> Sitzen nur eingeschränkt möglich bis: _____ % der Schichtzeit |
| <input type="checkbox"/> Wechsel Stehen, Gehen, Sitzen min. 5 % | <input type="checkbox"/> Wechsel Stehen, Gehen, Sitzen min. 10 % | <input type="checkbox"/> Wechsel Stehen, Gehen, Sitzen min. 30 % |

Treten weitere relevante Einschränkungen oder kritische Belastungen auf, wie "Beweglichkeit des Rumpfes, der Kniegelenke, der Arme, des Nackens", oder "Arbeitshöhe" und "Arbeiten über Schulterhöhe"?

Antwort	Bemerkung

Sonstiges: _____

1. Skizzieren Sie die vorherrschende(n) Grundhaltung(en) und ggf. temporär auftretende abweichende (Zwangs-)Haltungen (inkl. OWAS-Code):

Seitensicht: _____ Weitere Ansichten, 3 D Darstellung oder Fotografie(n): _____

Markieren Sie insbesondere: Lage & Zugänglichkeit der Montageobjekte (M1 ... Mi)
Lage & Zugänglichkeit der Basis- und Verkettungs- / Weitergabereinrichtungen (V1 ... Vk)
ggf. Lage & Zugänglichkeit von Werkzeugen oder weiterer Hilfsmittel (W1 ... Wl)
ggf. Lage & Einsehbarkeit der Informationsbereitstellung
ggf. Lage & Zugänglichkeit zu den bereitgestellten Materialien (B1 ... Bj)

2. Beschreiben Sie (quantitativ) die auftretenden Zwangshaltungen:

Gelenkstellung(en):	Tätigkeit	für 5. 50. 95. Perzentil
<input type="checkbox"/> Drehen / Beugen des Rumpfes > 30°?	_____ ° bei: _____	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Kniebeugung > 90°?	_____ ° bei: _____	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Greifweg > 600 mm?	_____ mm bei: _____	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Arbeitshöhe > 1500 mm?	_____ mm bei: _____	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Arbeitshöhe < 950 mm?	_____ mm bei: _____	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
nötiger Kraftaufwand: <input type="checkbox"/> keiner	<input type="checkbox"/> > 10 N <input type="checkbox"/> > 25 N <input type="checkbox"/> > 40 N <input type="checkbox"/> > 80 N	
nötige Handhabungsgenauigkeit:	<input type="checkbox"/> gering <input type="checkbox"/> mittel <input type="checkbox"/> hoch	

3. Bestimmen Sie die Art und Ausführung der Basis-, Verkettungs- und Bereitstellereinrichtungen näher:

Basiseinrichtung / Werkstück:	<input type="checkbox"/> starr	<input type="checkbox"/> höhenverstellbar	<input type="checkbox"/> neigbar	<input type="checkbox"/> verschiebbar
Werkstückaufnahme / -zuführung:	<input type="checkbox"/> starr	<input type="checkbox"/> höhenverstellbar	<input type="checkbox"/> neigbar	<input type="checkbox"/> verschiebbar
Werkstückabgabe / -abführung:	<input type="checkbox"/> starr	<input type="checkbox"/> höhenverstellbar	<input type="checkbox"/> neigbar	<input type="checkbox"/> verschiebbar
Materialbereitstellung:	<input type="checkbox"/> starr	<input type="checkbox"/> höhenverstellbar	<input type="checkbox"/> neigbar	<input checked="" type="checkbox"/> verschiebbar

Haltungsoptimierung und -unterstützung		
4. Definieren Sie die Handlungsschwerpunkte fest:		
1. Können Zwangshaltungen reduziert / eliminiert werden? (Oder treten keine Zwangshaltungen bzw. erschwerten Bedingungen auf?)		
2. Kann die vorherrschende Grundhaltung (v.a. für 5. oder 95. Perzentil) optimiert werden?		
3. Sollten weitere Grundhaltungen ermöglicht werden? (Oder sind bereits alle Grundhaltungen vertreten?)		
4. Müssen die Anteile der Grundhaltungen verändert werden? (Oder sind bereits alle Grundhaltungen mit min. 10 % vertreten?)		
5. Soll die vorherrschende Grundhaltung aufgrund der Einsatzeinschränkungen geändert werden? (Hin zu Steh- & Geharbeitsplatz oder zu Sitzarbeitsplatz?)		
*** Handelt es sich um eine individuelle Integrationsmaßnahme bzw. einen Einzelarbeitsplatz?		
**** Wird dieser Arbeitsplatz von mehreren Mitarbeitern gemeinsam oder abwechselnd genutzt?		
5. Prüfen Sie Veränderungs- / Flexibilisierungsmöglichkeiten der Lagen und Zugänglichkeiten: (zur Vermeidung / Eliminierung von Zwangshaltungen; siehe Schwerpunkt 1)		
Frage	Antwort, ggf. zuzüglich Bemerkung oder Lösungsidee	
1. Lässt sich die Zugänglichkeit zum Montageobjekt durch (ggf. einmalige / weiterhin starre) Veränderung (von Höhe, Neigung, Störkonturen o.ä.) der Basis- und Verkettungseinrichtungen verbessern?		
2. Lässt sich die Last oder deren Einwirkungsdauer (siehe 2.) reduzieren, bspw. durch Körperabstützungen, Werkzeugeinsatz oder Teilautomatisierung?		
3. Lässt sich die nötige Handhabungsgenauigkeit (siehe 2.) reduzieren, bspw. durch Fügehilfen, kompliante Systeme, unterstützende Sensorik oder Teilautomatisierung?		
4. Ließe eine (ggf. einmalige / weiterhin starre) Veränderung der Materialbereitstellung günstigere Zugänglichkeiten / Haltungen zu?		
5. Ließe eine externe Materialbereitstellung (ggf. in Verbaureihenfolge) günstigere Zugänglichkeiten / Haltungen zu?		
6. Ließe eine (ggf. einmalige / weiterhin starre näher gelegene) Veränderung der Werkzeugbereitstellung günstigere Zugänglichkeiten / Haltungen zu?		
7. Können Hilfsmittel von anderen Vorgängen oder Arbeitsplätzen / -stationen unterstützend eingesetzt werden, wie bspw. Manipulatoren oder sonstige Materialflusseinrichtungen?		
8. Können die Tätigkeiten an anderen Arbeitsplätzen / -stationen in günstigerer Zugänglichkeit / Haltung ausgeführt werden?		
9. Vermeiden Sie Pedal- oder Schalterbetätigungen durch Lichtschranken oder berührungslose moderne Sensorik, welche den Sicherheitsanforderungen genügt!		
10. Wie sieht die ideale Standfläche für die ungünstig gelegene Tätigkeit aus und wo müsste sie angebracht sein?		
11. Kann der Mitarbeiter näher zu der entferntesten oder ungünstigen Montageposition gebracht werden, bspw. durch Podeste?		
6. Prüfen Sie die Veränderungs- / Flexibilisierungsmöglichkeiten der Grundhaltung (siehe Schwerpunkte 2 bis 5):		
Frage	Antwort, ggf. zuzüglich Bemerkung oder Lösungsidee	
1. Lässt sich eine flexible / individuelle Höheneinstellbarkeit, ggf. durch eine Flexibilisierung der Verkettung oder teilweises herausnehmen davon oder durch eine Entkopplung der Werkstückaufnahme realisieren?		
2. Lässt sich eine flexible / individuelle Neigungseinstellbarkeit, ggf. durch eine Flexibilisierung der Verkettung oder teilweises herausnehmen davon oder durch eine Entkopplung der Werkstückaufnahme realisieren?		
3. Lässt sich eine flexible / individuelle Verschiebbarkeit, ggf. durch eine Flexibilisierung der Verkettung oder teilweises herausnehmen davon oder durch eine Entkopplung der Werkstückaufnahme realisieren?		
4. Lässt sich eine flexible / individuelle Anordnung der Materialbereitstellung realisieren?		
5. Ist die Zugänglichkeit der Anliefergebinde stark füllstandsabhängig bzw. kann hier techn. unterstützt werden?		
6. Erlaubt eine externe Materialversorgung (ggf. in Verbaureihenfolge) eine "best-point" Montage?		
7. Verbessert eine Verkleinerung oder Reduzierung der Anzahl der Anliefergebinde bzw. eine Vorvereinzelung oder Magazinierung die Zugänglichkeit?		
8. Lässt sich eine flexible / individuelle Anordnung der Werkzeugbereitstellung realisieren?		
9. Lässt sich mit entsprechender Verstellbarkeit (siehe oben) die Tätigkeit sowohl stehend als auch sitzend ausführen?		
10. Können die Tätigkeiten entsprechend den dafür möglichen Grundhaltungen günstiger zwischen den Arbeitsplätzen / -stationen verteilt werden?		
11. Mögliche einsetzbare (und zumindest temporär nutzbare) Stehhilfen oder Abstützungen:	<input type="checkbox"/> Höhenverstellbarer fest stehender Stuhl mit Fußabstützung <input type="checkbox"/> An Basiseinrichtung angebrachte Sitzhilfe (zum Abstützen / Anlehnen) <input type="checkbox"/> Bewegliche fest eingestellte Sitzhilfe <input type="checkbox"/> Bewegliche höhenverstellbare Sitzhilfe <input type="checkbox"/> Mittfahrersitzsystem <input type="checkbox"/> Sonstige: _____	

7. Prüfen Sie die Auswirkung auf andere Mitarbeiter und die Arbeitsabläufe:	
1. Helfen die gefundenen Maßnahmen (v.a. bei 5. / Swp. 1 & 2) allen Mitarbeitern? (Wurden diese explizit für das 5. das 50. und das 95. Perzentil geprüft?)	
2. Entstehen zeitliche Nachteile, möglicherweise bei der Nutzung der Hilfsmittel (durch Absitzen, Suchen, Greifen usw.)?	
3. Vermeidet eine automatisierte oder sensorgestützte Einstellung der Hilfsmittel zeitliche Nachteile oder Beeinträchtigungen für gesunde Mitarbeiter?	
4. Greifen die Maßnahmen auf Standardhilfsmittel zurück und lassen sie sich ggf. wieder revidieren?	
5. Entstehen zusätzliche Risiken bei der Nutzung der Hilfsmittel (z.B. Stolpergefahr oder einseitige Belastung bei falscher Benutzung)?	
8. Skizzieren Sie Lösungen und Konzepte zur Haltungsoptimierung und -unterstützung (inkl. OWAS-Code):	
Lösungsvorschlag:	ggf. Alternativen:
9. Prüfen Sie die Wirksamkeit der Lösungen:	
Anteil Stehen: _____ %	Anteil Gehen: _____ %
Anteil Sitzen: _____ %	
davon erschwert oder in Zwangshaltung: _____ %	Lastfall: <input type="checkbox"/> grün <input type="checkbox"/> gelb <input type="checkbox"/> rot
Reduzierung der weiteren kritischen Belastungen?	
Sonstiges:	
Können damit (mehr) leistungsgewandelte Mitarbeiter integriert werden?	
Berücksichtigen Sie den erweiterten Lösungsraum zusammen mit anderen technisch-strukturellen Integrationsmaßnahmen!	
Überprüfung der Randbedingungen und der Realisierbarkeit	
10. Prüfen Sie die (Sicherheits-) technischen, baulichen und organisatorischen Randbedingungen:	
<input type="checkbox"/> Arbeitssicherheit geprüft & gewährleistet, auch bei flexiblen / individuellen Einstellbarkeiten?	
<input type="checkbox"/> Beachtung besonderer Vorschriften nötig?	
<input type="checkbox"/> Wurde die Teamzusammensetzung geprüft, bzw. integrationsförderlich angepasst?	
<input type="checkbox"/> Wurde die Arbeitsorganisation generell geprüft, bzw. integrationsförderlich angepasst?	
<input type="checkbox"/> Wurde eine neue Austattung vorgenommen, bzw. wurden Alternativen simuliert?	
<input type="checkbox"/> Berücksichtigt die Entlohnung weitere Komponenten neben Leistung und Qualität?	
<input type="checkbox"/> Umsetzung / Nutzung durch Schulung und Anweisung von Vorarbeitern / Meister sichergestellt?	

Integrations-Checkliste: Teil 2.3 "Leistungsflexibilisierung"

Fragebogennummer: _____ Arbeitsplatz: _____

Beschreibung des (unflexiblen / ungünstigen) Ist-Zustandes

Charakterisieren Sie die Taktzeitbindung, die Leistungsanforderungen und die Informationsgestaltung näher:

Gesamttakt: _____ s Schichtdauer: _____ min Schichtanzahl: _____

Taktbindung: keine normal enge* Sonstiges: _____
 technikbedingt organisatorisch bedingt

Allgemeine **Leistungsanforderung:** gering normal hoch** Sonstiges: _____
Art der Tätigkeiten*:** identisch ähnlich stark unterschiedlich
Geforderte Leistungserbringung: individuell konstant schwankend

Informationsmenge: gering mittel hoch**** Sonstiges: _____
Informationsinhalt: gleichbleibend leicht variierend stark variierend
Informationsübermittlung: mündlich visuell (Papier) visuell (Monitor) multimedial

Lastfall: grün gelb rot

Hinweise: * Entkopplung < 1 Takt und mit unmittelbarer Auswirkung auf Ausbringung der gesamten Linie!
 ** Geplanter (REFA) Mitarbeiterleistungsgrad > 100 % und / oder Akkordlohn!
 *** Jeweils am Arbeitsplatz bzw. innerhalb des Systems oder benachbarter Arbeitsplätze.
 **** Eine hohe zu verarbeitende Informationsmenge ist in der Regel zugleich stark variierend und tritt auf, wenn jeweils individuelle Anweisungen für mehrere oder sämtliche Bauteile bzw. Operationen vorliegen!

Quantifizieren Sie die attestierten / festgestellten Einsatzeinschränkungen:

kein Einsatz bei Taktbindung möglich Einsatz nur bei weiter Taktbindung möglich Sonstiges: _____
 Nur reduzierte Informationsaufnahme möglich Sonstige Einschränkungen bzgl. der Informationsaufnahme: _____

	Antwort	Bemerkung
Treten weitere relevante Einschränkungen oder kritische Belastungen auf, wie "Stehen, Gehen, Sitzen", "Handhaben von Lasten" oder liegt eine allgemein verminderte Leistungsfähigkeit (< 70 % gem. REFA) vor? Sonstiges: _____		

1. Skizzieren Sie die Systemstruktur und ordnen Sie die entsprechenden (REFA-) Zeitanteile zu:

Struktur- und Austaktungsdarstellung:

Markieren Sie insbesondere: Taktbedingte Wartezeiten
 Puffer (inkl. der Reichweite in Takten)
 Anzahl der an einer Station / einem Arbeitsplatz bearbeitbaren Werkstücke
 Fest getaktete Automatikstationen
 Linienanfang & -ende
 Richtung und Verzweigungen des Materialflusses

2. Skizzieren Sie die Montagereihenfolge und mögliche Freiheitsgrade:

Montagevorranggraph:

Flexibilisierung der Leistungserbringung

4. Prüfen Sie Möglichkeiten zur Unterstützung und Flexibilisierung der Leistungserbringung:

Frage	Antwort, ggf. zuzüglich Bemerkung oder Lösungsidee	
1. Können die Pufferfunktionen von Verkettung und Zuführung erweitert werden oder steht bereits durchgehend mehr als 1 Takt Reichweite (bzw. 1 bis 5 min) zur Verfügung?		
2. Reduzieren Sie organisatorisch bedingte psychologisch wirkende Abhängigkeiten bei der Leistungserbringung, v.a. im Umlaufprinzip, bspw. durch die Erhöhung der Stations-anzahl, durch Teil-Umläufen oder durch Springereinsatz!		
3. Ist das System nach arbeitspsychologischen Aspekten optimal abgetaktet, d.h. sind Wartezeiten, belastende bzw. anspruchsvolle Tätigkeiten gleichmäßig verteilt?		
4. Lässt sich der Systemtakt, insbesondere die Geschwindigkeit des Systems anpassen und wird die auch genutzt, je nach Tageszeit, variantenmix-abhängigem Lastkollektiv oder Gruppenleistung?		
5. Können neben dem One-Piece-Flow im One-Set-Flow, z.B. mit Mehrfachwerkstückträgern, auch mehrere (min. 2) Werkstücke in einem Takt bearbeitet werden bevor eine Weitergabe erfolgt und damit die Verteilzeit erhöht werden? (Zur Wirtschaftlichkeitssteigerung z.B. mit Beidhandarbeit?)		
6. Können Inhalte z.B. von benachbarten Arbeitsplätzen / -stationen zusammengelegt und dupliziert werden und wird damit der Arbeitsinhalt weniger belastend und zugleich abwechslungsreicher, bei erhöhter Takt- und Verteilzeit?		
7. Lassen sich einzelne Arbeitsplätze oder v.a. neue entstehende Parallelarbeitsplätze (s. 4.6) mit erhöhter Taktzeit im Nebenfluss anbinden?		
8. Können zur spezifischen Integration temporär oder dauerhaft "organisatorische Puffer" von deutlich größerer Reichweite eingerichtet werden, welche von stärkeren Gruppen später abgearbeitet werden?		
9. Können zur spezifischen Integration hinderliche Arbeitsinhalte temporär bzw. dauerhaft auf andere Stationen verlagert oder umverteilt werden?		
10. Reicht der Zeitangebotsgewinn durch den Einsatz von (zusätzlichen) Springern aus um die Verteilzeit entsprechend zu erhöhen und zusätzlich die Nutzung integrations-notwendiger Hilfsmittel (s. Teil 2.1 & 2.2) zu fördern?		
11. Können zur spezifischen Integration temporär oder dauerhaft Inhalte und Tätigkeiten von Dienstleistungsbereichen, bspw. der Materialversorgung & Logistik, übernommen werden?		
12. Können zur spezifischen Integration temporär oder dauerhaft Inhalte und Tätigkeiten von externen Dienstleistern oder Zulieferern übernommen werden?		
13. Können zur spezifischen Integration temporär (ggf. mobile) Parallel- oder Unterstützungsarbeitsplätze realisiert werden?		
14. Können zur spezifischen Integration universelle und zugleich mobile, temporär nutzbare Automatisierungslösungen (z. B. mittels CoBots) entwickelt werden?		
15. Entspricht die Struktur und Darstellung der Information den inhaltlichen Anforderungen und wird sie gleichzeitig den Einsatz einschränkungen vollständig gerecht?		
16. Können haptische oder dezentrale Rückmeldungen / Informationen die Arbeit unterstützen (insbesondere bei vorliegen ungünstiger / störender Umfeldbedingungen)?		
17. Sind die Montagetätigkeiten und die Prozesstechnik vollständig fehlersicher gestaltet (im Sinne von Poka Yoke)?		

5. Prüfen Sie die Auswirkung auf andere Mitarbeiter und die Arbeitsabläufe:	
1. Helfen die gefundenen Maßnahmen allen Mitarbeitern? (Oder führt insbesondere die inhaltliche Erweiterung und die Erhöhung der Taktzeit zu neuen Einsatzeinschränkungen?)	
2. Besteht die Gefahr der Stigmatisierung der "neuen" Arbeitsplätze und ggf. gleichzeitig ein übertriebener und damit langfristig schädlicher "Hochleistungs-" Anreiz an anderer Stelle oder ein falsches Anspruchsdenken?	
3. Lässt sich eine ideale Informationsdarstellung auch für die geänderten Arbeitsplätze erreichen?	
4. Greifen die Maßnahmen auf Standards zurück und lassen sie sich ggf. wieder revidieren?	
6. Skizzieren Sie die neue Systemstruktur und stellen Sie die entsprechenden Freiheitsgrade und Änderungen dar:	
Lösungsvorschlag:	ggf. Alternativen:
7. Prüfen Sie die Wirksamkeit der Lösungen:	
Taktbindung nach Optimierung: <input type="checkbox"/> weiter <input type="checkbox"/> gleich <input type="checkbox"/> enger* <input type="checkbox"/> Sonstiges: _____ Informationsanforderungen: <input type="checkbox"/> geringer <input type="checkbox"/> gleich <input type="checkbox"/> höher***** <input type="checkbox"/> Sonstiges: _____ Lastfall: <input type="checkbox"/> grün <input type="checkbox"/> gelb <input type="checkbox"/> rot	
Reduzierung der weiteren kritischen Belastungen?	
Sonstiges:	
Können damit (mehr) leistungsgewandelte Mitarbeiter integriert werden?	
Berücksichtigen Sie den erweiterten Lösungsraum zusammen mit anderen technisch-strukturellen Integrationsmaßnahmen!	
Überprüfung der Randbedingungen und der Realisierbarkeit	
9. Prüfen Sie die (Sicherheits-) technischen, baulichen und organisatorischen Randbedingungen:	
<input type="checkbox"/> Arbeitssicherheit geprüft & gewährleistet, auch bei mobilen / temporären Lösungen?	
<input type="checkbox"/> Beachtung besonderer Vorschriften nötig?	
<input type="checkbox"/> Wurde die Teamzusammensetzung geprüft, bzw. integrationsförderlich angepasst?	
<input type="checkbox"/> Umsetzung / Nutzung durch Schulung und Anweisung von Vorarbeitern / Meister sichergestellt?	

Integrations-Checkliste: Teil 3 "Prüfung, Realisierung und Weiterführung der Maßnahmen"

Fragebogennummer: _____ Arbeitsplatz / Arbeitssystem: _____

Bewertung und Auswahl der Maßnahmen

1. Bewerten und vergleichen Sie die erarbeiteten Lösungen:

- | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| Listen Sie alle gefundenen Lösungen (inkl. Alternativen) auf! | <input type="checkbox"/> |
| Prüfen und ggf. quantifizieren Sie jeweils die Reduzierung der kritischen Belastungen! | <input type="checkbox"/> |
| Prüfen und ggf. quantifizieren Sie das Integrationspotenzial der Maßnahmen! | <input type="checkbox"/> |
| Benennen und ggf. quantifizieren Sie jeweils den Zusatznutzen! | <input type="checkbox"/> |
| Benennen und ggf. quantifizieren Sie das technische Risiko! | <input type="checkbox"/> |
| Schätzen Sie den Investitionsaufwand (wenn möglich im Detail) ab! | <input type="checkbox"/> |
| Quantifizieren Sie den Planungsaufwand (Kosten und Zeit) separat! | <input type="checkbox"/> |
| Führen Sie eine Nutzwert-Kosten-Analyse durch! | <input type="checkbox"/> |
| Wählen Sie die Lösungen mit dem günstigsten Nutzen-Aufwand-Verhältnis aus! | <input type="checkbox"/> |
| Aktualisieren Sie den Profilvergleich unter Berücksichtigung / Abschätzung der geplanten weiterführenden Maßnahmen! | <input type="checkbox"/> |
| Können die gesteckten Ziele (aus Teil 1) erreicht werden? | <input type="checkbox"/> |

Realisierung der Maßnahmen

2. Planen Sie die Umsetzung und Realisierung:

- Wer koordiniert die Umsetzung verantwortlich? _____
- Welche Dienstleister werden benötigt? _____
- Sind weitere Unternehmensbereiche betroffen? _____
- Erstellen Sie einen Projektplan! abgelegt unter: _____
- Rückmeldung der Dienstleister? _____
- Freigabe? _____
- Beachten Sie relevanten Vorschriften für Änderungen beziehungsweise Investitionen!

Weiterverfolgung der Maßnahmen

3. Planen Sie die Weiterführung der Integrationsbemühungen:

(v.a. wenn (voraussichtlich) nicht alle in Teil 1 definierten Ziele erreicht werden)

- Ist eine Nachprüfung der Wirksamkeit der Integrationsmaßnahmen geplant? am: _____
mit: Arbeitsplatzbewertung Mitarbeiterbefragung Workshop
- Wurden weitergehende Integrationsmöglichkeiten identifiziert?
- Welchen Bereichen sind diese zuzuordnen? Produktgestaltung Anlagentechnologie Organisation
 Qualifikation Sonstige: _____
- Sind diese entsprechend dokumentiert?
- Ist eine Wiedervorlage zielführend? am: _____
- Konnten die Ideen einem entsprechenden Fachbereich weitergeleitet werden? _____
- Sonstiges: _____

10.7 Ergänzung und Dokumentation des Anwendungsbeispiels

Zeitanteile Stehen, Gehen, Sitzen	Arbeitsplätze									
	AVG010	AVG020	AVG040	AVG050	AVG055	AVG060	AVG070	AVG090	AVG100	AVG130
Stehen	50%	70%	80%	5%	50%	10%	90%	60%	60%	10%
Gehen	50%	30%	20%	5%	50%	90%	10%	40%	40%	20%
Sitzen	0%	0%	0%	90%	0%	0%	0%	0%	0%	70%

Abbildung 64: Detailanalyse für das ABATech-Kriterium „Stehen, Gehen, Sitzen“ für die Arbeitsplätze des Praxisbeispiels zum Stand der Studie

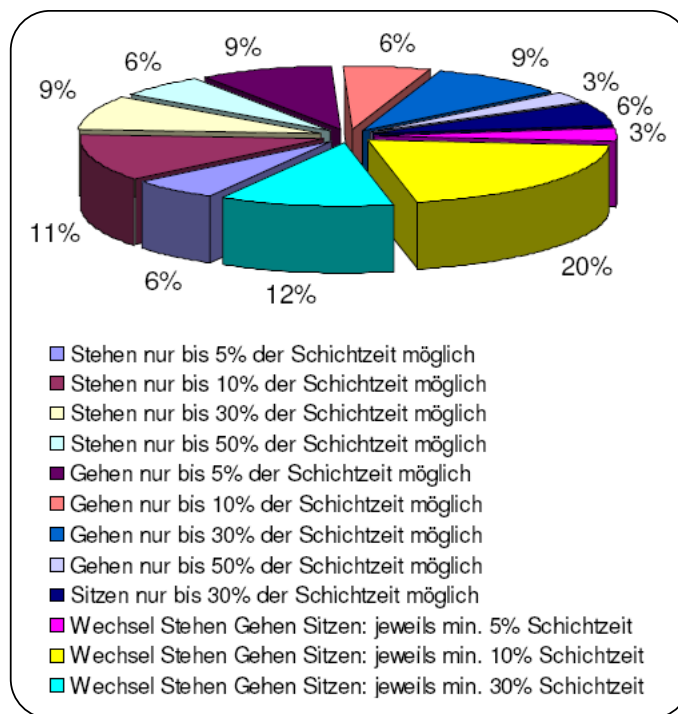


Abbildung 65: Attestierte Einschränkungen beim „Stehen, Gehen, Sitzen“ der betrachteten leistungsgewandelten Mitarbeiter zum Stand der Studie

4. Definieren Sie die Greif- bzw. Aufnahmebedingungen & Abgabebedingungen:	
Besondere / Eingeschränkte Zugänglichkeit bei Aufnahme?	<u>nein</u>
Besondere / Eingeschränkte Zugänglichkeit bei Abgabe?	<u>nein</u>
Erforderliche Positioniergenauigkeit bei Aufnahme?	<u>keine</u>
Erforderliche Positioniergenauigkeit bei Abgabe?	<u>ca. 1/10 mm und ca. 0,1°</u>
<input type="checkbox"/> Montageobjekt (d. h. Aufnahme- und / oder Ablageort) ist bewegt	
Beschreiben Sie potenzielle Greifflächen:	<u>Außendurchmesser, Topfaußenkontur, Topfbohrung</u>
Anzahl Varianten:	<u>7</u>
Greifmaß (variantenabhängig):	
radial (r) / lateral (x) [in mm]	min <u>280; 174; 60;</u> max <u>350; 219; 60;</u> <input checked="" type="checkbox"/> innen <input checked="" type="checkbox"/> außen
lateral (y) [in mm]	min _____ max _____ <input type="checkbox"/> innen <input type="checkbox"/> außen
vertikal (z) [in mm]	min <u>75</u> max <u>75</u> <input type="checkbox"/> innen <input type="checkbox"/> außen
Gewicht [in kg]	min <u>4,553</u> mittel <u>6,11</u> max <u>8,231</u>
Nennen Sie kritische / funktionssensible Bauteilbereiche:	<u>Gewindebohrungen</u> <input type="checkbox"/> variabel je Variante
Anzahl Materialquellen:	<u>1</u>
Welche Toleranzen liegen bei der Aufnahme vor?	<input type="checkbox"/> Passung <input checked="" type="checkbox"/> Wurfpassung <input type="checkbox"/> freie Lage
Anzahl Materialskenen:	<u>1</u>
Welche Toleranzen liegen bei der Abgabe vor?	<input checked="" type="checkbox"/> Passung <input type="checkbox"/> Wurfpassung <input type="checkbox"/> freie Lage
Beurteilung der technischen Realisierbarkeit eines Manipulators oder eines Handhabungshilfsmittels	
5. Prüfen Sie die Voraussetzungen für den Einsatz von Handhabungshilfsmitteln:	
<ol style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Liegen mehrere der aufgeführten Einsatzhemmnisse vor? <input checked="" type="checkbox"/> Ist die Risikozahl (RKZ) größer als 25? <input checked="" type="checkbox"/> Liegt das Handhabungsgewicht über 8 kg? <input type="checkbox"/> Überschreiten die Aufnahme- oder Ablagehöhen beziehungsweise der Greifweg die Empfehlungen für ältere Mitarbeiter? <input type="checkbox"/> Beinhaltet der Handhabungsvorgang eine Orientierungsänderung aus der Schwerpunktlage heraus? <input checked="" type="checkbox"/> Dominiert die Handhabungszeit (zeitlich) den gesamten Arbeitstakt? <input checked="" type="checkbox"/> Bestehen prinzipiell Anbringungsmöglichkeiten für Handhabungshilfsmittel und keine gravierenden Hindernisse? <input checked="" type="checkbox"/> Weist das Bauteil keine oder kaum besondere Greifanforderungen auf? <input checked="" type="checkbox"/> Sind die Greif- sowie Auf- und Abnahmebedingungen zwischen den Varianten ähnlich? 	
Empfehlungen für die Auswahl des Handhabungshilfsmittels:	
a) Wenn mehr als fünf dieser Fragen mit "Ja" beantwortet werden, sollte der Einsatz von Manipulatoren näher geprüft werden!	
b) Wenn insbesondere 1. und 3. erfüllt werden (nicht aber 2. und 6.) sollte zunächst nach einfachen mechanische Hilfsmitteln gesucht werden!	
Empfehlungen für die Auswahl der Manipulatorausführung (v.a. Kinematik und Greifsystem):	
c) Ist die exakte Beibehaltung oder präzise Veränderung einer Orientierung notwendig, sollten Sie Stabmanipulatoren verwenden! Wenn keine exakte Orientierungen nötig sind, sollten Sie Seil- oder Kettenmanipulatoren bevorzugen!	
d) Die Berücksichtigung von Hubschlauchsystemen empfiehlt sich erst bei Gewichten deutlich über 8 kg und vor allem wenn großflächige vorwiegende ebene Bauteile / Materialien zu handhaben sind!	
e) Bevorzugen Sie bei nur geringfügig variierenden Handhabungsgewichten (z.B. +/- 1 kg) eine feste vordefinierte Krafteinstellung (auf das Maximalgewicht)! Ein leichter Zug nach unten durch einfaches Aufstützen reicht zum Ausgleichen und eliminiert die Einregelungszeit. Alternativ ist zu prüfen, ob das zu kompensierende Gewicht nicht mit ohnehin vorliegenden Daten der Steuerung voreingestellt werden kann!	
6. Treffen Sie eine Vorauswahl bezüglich der grundlegenden Manipulatorgestaltung:	
Ausführungsform:	<input type="checkbox"/> Seil- / Kettenmanipulator <input checked="" type="checkbox"/> Gelenkarmmanipulator <input type="checkbox"/> Hubschlauchsystem
	<input type="checkbox"/> Sonstige: _____
Grundkinematik:	<input checked="" type="checkbox"/> Karthesisch <input type="checkbox"/> Zylindrisch
	<input type="checkbox"/> Sonstige: _____
Kraftausgleich / Steuerung:	<input type="checkbox"/> Kraftgeregelt (Balancer) <input checked="" type="checkbox"/> Gesteuert (Balancer)
	<input type="checkbox"/> Sonstige: _____
Greifprinzip:	<input checked="" type="checkbox"/> Mechanisch <input type="checkbox"/> (elektro-) magnetisch <input type="checkbox"/> pneumatisch
	<input type="checkbox"/> Sonstige: _____

Abbildung 67: Vorprüfung und -auswahl der grundlegenden Ausführung des Handhabungshilfsmittels in Teil 2.1 der Integrations-Checkliste für die Bremscheibenmontage (in AVG090)

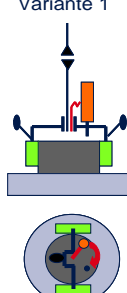
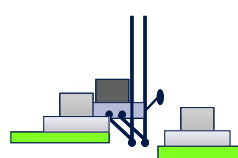
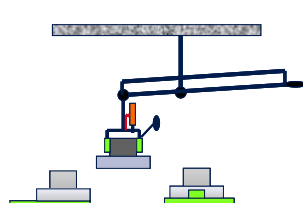
12. Allgemeine Hinweise zur Ausführung und Gestaltung:	
Berücksichtigen Sie Aufwand und Nutzen: Eventuell steigern gerade Exotenbauteile, die für weniger als 20 % der Handhabungsvorgänge verantwortlich sind, den Konstruktionsaufwand für den Manipulator überdimensional und diese Lasten könnten auch manuell bewegt werden!	✓
Haben Sie den Einsatz alternativer mechanischer Hilfsmittel oder (Teil-)Automatisierungslösungen geprüft?	✓
Konzipieren Sie den gesamten Manipulator (inkl. Greifer und ggf. Werkzeuge) so leicht wie möglich, um Beschleunigungs- und Abbremszeiten zu minimieren und die Positioniergenauigkeit zu erhöhen!	✓
Verwenden Sie bevorzugt modulare, marktübliche Standardkomponenten und Systeme, um die spätere Erweiterbarkeit oder Anpassbarkeit an geänderte Abläufe oder Tätigkeiten, beispielsweise im Rahmen von Rationalisierungsmaßnahmen oder Produktänderungen zu ermöglichen!	✓
13. Skizzieren Sie Lösungen und Konzepte für einen ergonomischen und effizienten Handhabungsmiteinsatz:	
Lösungsvorschlag:	ggf. Alternativen:
<p>Variante 1</p>  <ul style="list-style-type: none"> - Stabbalancer mit integriertem Schrauber - Umsetzungsvorgang erfolgt positionsgenau, da beidhändige Führung - Nach dem Fügen Verschraubung durch integrierten Schrauber - evtl. Gewicht voreinstellen 	<p>Variante 2</p>  <ul style="list-style-type: none"> - Parallelkinematik für den Umsetzungsvorgang - Einfacher Umsetzungsvorgang ohne Schrauberintegration - Problem: Kinematik muss auf Bandhöhe befestigt werden - Problem: Lineares Fügen MFN <p>⇒ Sonderlösung</p>
	<p>Variante 3</p>  <ul style="list-style-type: none"> - Hebelkinematik zum Umsetzen der Bremsscheibe - Kann wie der Balancer mit einem integrierten Schrauber ausgeführt werden - Problem: Gewicht erhöht sich durch den Greifer => langer Hebel nötig <p>⇒ Sonderlösung ⇒ Beidhandbetrieb ⇒ Schrauberintegration</p>
14. Prüfen Sie die Wirksamkeit der Lösungen:	
Risikozahl (neu): <u>24</u> Lastfall (neu): <input checked="" type="checkbox"/> grün (< 25) <input type="checkbox"/> gelb (25 bis 50) <input type="checkbox"/> rot (> 50)	
Reduzierung der weiteren kritischen Belastungen?	ja
Sonstiges:	ja Tätigkeit mit Manipulator auch sitzend ausführbar
Können damit (mehr) leistungsgewandelte Mitarbeiter integriert werden?	ja alle mit zulässiger RKZ < 25
Berücksichtigen Sie den erweiterten Lösungsraum zusammen mit anderen technisch-strukturellen Integrationsmaßnahmen!	✓
Prüfung der technischen und baulichen Randbedingungen	
15. Überprüfen Sie die Systemumgebung (Aufstellort):	
Boden, Bodentragfähigkeit: <u>4500</u> kg/m ²	
Decken- oder Wandbefestigung:	sehr gut gut mäßig schlecht
Zugänglichkeit:	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
baulicher Zustand:	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Belastbarkeit:	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Stahlbau nutzbar:	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
statische Störkonturen:	<u>Werkzeugaufhängung und Beleuchtung</u>
dynamische Störkonturen:	<u>keine</u>
16. Überprüfen Sie die Arbeitssicherheit:	
<input checked="" type="checkbox"/> Sicherheit bei Energieausfall durch:	<u>mechanischen Greifer</u>
<input checked="" type="checkbox"/> Sicherheit bei Notabschaltung durch:	<u>mechanischen Greifer</u>
<input checked="" type="checkbox"/> Beachtung besonderer Vorschriften:	<u>Quetschgefahrenstellen prüfen</u>
<input checked="" type="checkbox"/> Zuverlässigkeit:	<u>Toleranzkette (Werkstückträger, Bauteil, Manipulator) prüfen</u>
<input checked="" type="checkbox"/> Robustheit des Manipulators:	<u>Bei Auswahl des Standard-Stabmanipulators gegeben</u>
<input checked="" type="checkbox"/> Sicherheit gegen vorzeitiges Greiferöffnen:	<u>hat keine nennenswerte Auswirkung</u>
<input checked="" type="checkbox"/> Sonderausstattung:	<u>Freigabe vom Schrauberhersteller verwenden</u>

Abbildung 68: Prüfung der alternativen Lösungen mittels Teil 2.1 der Integrations-Checkliste für die Bremsscheibenmontage (in AVG090)

Integrations-Checkliste: Teil 2.2 "Haltungsoptimierung & -unterstützung"

Fragebogennummer: 5 Arbeitsplatz: AVG090

Beschreibung des Ist-Zustandes (ohne Optimierung / Unterstützung)

Bestimmen Sie Grundhaltungsbedingungen und Zwangshaltungen entsprechend der Arbeitsplatzbewertung:

Gesamttakt: 25 s Schichtdauer: 450 min Schichtanzahl: 2

Erschwerte Bedingungen* bzw. Zwangshaltungen** durch:

Grundhaltungen:	Tragen von PSA	eingeeengte, schwingende, geneigte oder schlechte Stand- / Lauffläche	Störkonturen	Pedalbetätigungen	Sonstige
	Anteil Stehen: <u>60</u> %	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Anteil Gehen: <u>40</u> %	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Anteil Sitzen: <u>0</u> %	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Anteil * & **: <u>0</u> %	Lastfall: <input type="checkbox"/> grün <input checked="" type="checkbox"/> gelb <input type="checkbox"/> rot				

Quantifizieren Sie die attestierten Einzeleinschränkungen:

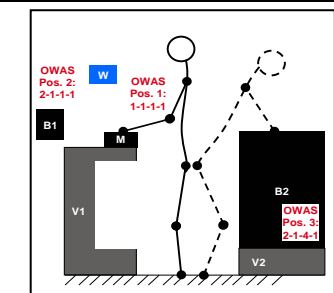

<input checked="" type="checkbox"/> Stehen nur eingeschränkt möglich bis: <u>von 5 bis 50</u> % der Schichtzeit	<input checked="" type="checkbox"/> Gehen nur eingeschränkt möglich bis: <u>von 5 bis 50</u> % der Schichtzeit	<input checked="" type="checkbox"/> Sitzen nur eingeschränkt möglich bis: <u>30</u> % der Schichtzeit
<input checked="" type="checkbox"/> Wechsel Stehen, Gehen, Sitzen min. 5 %	<input checked="" type="checkbox"/> Wechsel Stehen, Gehen, Sitzen min. 10 %	<input checked="" type="checkbox"/> Wechsel Stehen, Gehen, Sitzen min. 30 %

Treten weitere relevante Einschränkungen oder kritische Belastungen auf, wie "Beweglichkeit des Rumpfes, der Kniegelenke, der Arme, des Nackens", oder "Arbeitshöhe" und "Arbeiten über Schulterhöhe"?

Antwort	Bemerkung
ja	

Sonstiges:

1. Skizzieren Sie die vorherrschende(n) Grundhaltung(en) und ggf. temporär auftretende abweichende (Zwangs-)Haltungen (inkl. OWAS-Code):

Seitensicht:  Weitere Ansichten, 3 D Darstellung oder Fotografie(n): 

Markieren Sie insbesondere: Lage & Zugänglichkeit der Montageobjekte (M1 ... Mi)
Lage & Zugänglichkeit der Basis- und Verkettungs- / Weitergabereinrichtungen (V1 ... Vk)
ggf. Lage & Zugänglichkeit von Werkzeugen oder weiterer Hilfsmittel (W1 ... Wl)
ggf. Lage & Einsehbarkeit der Informationsbereitstellung
ggf. Lage & Zugänglichkeit zu den bereitgestellten Materialien (B1 ... Bj)

2. Beschreiben Sie (quantitativ) die auftretenden Zwangshaltungen:

Gelenkstellung(en):	Tätigkeit	für 5. 50. 95. Perzentil
<input checked="" type="checkbox"/> Drehen / Beugen des Rumpfes > 30°?	bei: <u>Bremssättel auflegen</u>	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Kniebeugung > 90°?	bei: _____	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input checked="" type="checkbox"/> Greifweg > 600 mm?	bei: <u>Bremssättel auflegen</u>	<input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Arbeitshöhe > 1500 mm?	bei: _____	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Arbeitshöhe < 950 mm?	bei: _____	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
nötiger Kraftaufwand: <input type="checkbox"/> keiner <input type="checkbox"/> > 10 N <input type="checkbox"/> > 25 N <input type="checkbox"/> > 40 N <input type="checkbox"/> > 80 N		
nötige Handhabungsgenauigkeit: <input type="checkbox"/> gering <input type="checkbox"/> mittel <input checked="" type="checkbox"/> hoch		

3. Bestimmen Sie die Art und Ausführung der Basis-, Verkettungs- und Bereitstellereinrichtungen näher:

Basiseinrichtung / Werkstück:	<input checked="" type="checkbox"/> starr <input type="checkbox"/> höhenverstellbar <input type="checkbox"/> neigbar <input type="checkbox"/> verschiebbar
Werkstückaufnahme / -zuführung:	<input checked="" type="checkbox"/> starr <input type="checkbox"/> höhenverstellbar <input type="checkbox"/> neigbar <input type="checkbox"/> verschiebbar
Werkstückabgabe / -abführung:	<input checked="" type="checkbox"/> starr <input type="checkbox"/> höhenverstellbar <input type="checkbox"/> neigbar <input type="checkbox"/> verschiebbar
Materialbereitstellung:	<input checked="" type="checkbox"/> starr <input type="checkbox"/> höhenverstellbar <input type="checkbox"/> neigbar <input checked="" type="checkbox"/> verschiebbar

Abbildung 69: Beschreibung des Ist-Zustandes ohne Haltungsoptimierung und -unterstützung mittels Teil 2.2 der Integrations-Checkliste am Beispiel der Bremsscheibenmontage (in AVG090)

Haltungsoptimierung und -unterstützung		
4. Definieren Sie die Handlungsschwerpunkte fest:		
1. Können Zwangshaltungen reduziert / eliminiert werden? (Oder treten keine Zwangshaltungen bzw. erschwerten Bedingungen auf?)	nein	
2. Kann die vorherrschende Grundhaltung (v.a. für 5. oder 95. Perzentil) optimiert werden?	ja	fehlende Höheneinstellbarkeit, v.a. 95. Perzentil
3. Sollten weitere Grundhaltungen ermöglicht werden? (Oder sind bereits alle Grundhaltungen vertreten?)	ja	Sitzanteil vorsehen
4. Müssen die Anteile der Grundhaltungen verändert werden? (Oder sind bereits alle Grundhaltungen mit min. 5 % vertreten?)	ja	s. o.
5. Soll die vorherrschende Grundhaltung aufgrund der Einsatzeinschränkungen geändert werden? (Hin zu Steh- & Geharbeitsplatz oder zu Sitzarbeitsplatz?)	wenn möglich	hin zu Sitzarbeitsplatz
*** Handelt es sich um eine individuelle Integrationsmaßnahme bzw. einen Einzelarbeitsplatz?	ja	
**** Wird dieser Arbeitsplatz von mehreren Mitarbeitern gemeinsam oder abwechselnd genutzt?	teilweise	
5. Prüfen Sie Veränderungs- / Flexibilisierungsmöglichkeiten der Lagen und Zugänglichkeiten: (zur Vermeidung / Eliminierung von Zwangshaltungen; siehe Schwerpunkt 1)		
Frage	Antwort, ggf. zuzüglich Bemerkung oder Lösungsidee	
1. Lässt sich die Zugänglichkeit zum Montageobjekt durch (ggf. einmalige / weiterhin starre) Veränderung (von Höhe, Neigung, Störkonturen o.ä.) der Basis- und Verkettungseinrichtungen verbessern?	n. rel. (= nicht relevant)	
2. Lässt sich die Last oder deren Einwirkungsdauer (siehe 2.) reduzieren, bspw. durch Körperabstützungen, Werkzeugeinsatz oder Teilautomatisierung?	evtl.	Armauflage für Feinpositionieren der Bremsscheibe
3. Lässt sich die nötige Handhabungsgenauigkeit (siehe 2.) reduzieren, bspw. durch Fügehilfen, komplette Systeme, unterstützende Sensorik oder Teilautomatisierung?	n. rel.	Einführschrägen an beiden Fügepartnern vorhanden
4. Ließe eine (ggf. einmalige / weiterhin starre) Veränderung der Materialbereitstellung günstigere Zugänglichkeiten / Haltungen zu?	ja	Zuführung der Bremsscheibe bereits vereinzelt und nächstmöglich, aber Hub-Neigergerät für Gitterbox zur Bremssättelbereitstellung vorteilhaft!
5. Ließe eine externe Materialbereitstellung (ggf. in Verbaureihenfolge) günstigere Zugänglichkeiten / Haltungen zu?	n. rel.	s. o.
6. Ließe eine (ggf. einmalige / weiterhin starre) näher gelegene Veränderung der Werkzeugbereitstellung günstigere Zugänglichkeiten / Haltungen zu?	n. rel.	bereits optimal einstellbar gestaltet mit Zugentlastung
7. Können Hilfsmittel von anderen Vorgängen oder Arbeitsplätzen / -stationen unterstützend eingesetzt werden, wie bspw. Manipulatoren oder sonstige Materialflusseinrichtungen?	n. rel.	
8. Können die Tätigkeiten an anderen Arbeitsplätzen / -stationen in günstigerer Zugänglichkeit / Haltung ausgeführt werden?	n. rel.	
9. Vermeiden Sie Pedal- oder Schalterbetätigungen durch Lichtschranken oder berührungslose moderne Sensorik, welche den Sicherheitsanforderungen genügt!	n. rel.	nicht vorhanden
10. Wie sieht die ideale Standfläche für die ungünstig gelegene Tätigkeit aus und wo müsste sie angebracht sein?	n. rel.	bereits ideal
11. Kann der Mitarbeiter näher zu der entfernten oder ungünstigen Montageposition gebracht werden, bspw. durch Podeste?	ja	erhobenes oder einstellbares Podest
6. Prüfen Sie die Veränderungs- / Flexibilisierungsmöglichkeiten der Grundhaltung (siehe Schwerpunkte 2 bis 5):		
Frage	Antwort, ggf. zuzüglich Bemerkung oder Lösungsidee	
1. Lässt sich eine flexible / individuelle Höheneinstellbarkeit, ggf. durch eine Flexibilisierung der Verkettung oder teilweises herausnehmen davon oder durch eine Entkopplung der Werkstückaufnahme realisieren?	ja	durch höhenverstellbare Werkstückträger; lokale Anhebung des gestoppten Werkstückträgers
2. Lässt sich eine flexible / individuelle Neigungseinstellbarkeit, ggf. durch eine Flexibilisierung der Verkettung oder teilweises herausnehmen davon oder durch eine Entkopplung der Werkstückaufnahme realisieren?	nein	würde den lateralen Positionierungsvorgang erschweren
3. Lässt sich eine flexible / individuelle Verschiebbarkeit, ggf. durch eine Flexibilisierung der Verkettung oder teilweises herausnehmen davon oder durch eine Entkopplung der Werkstückaufnahme realisieren?	nein	
4. Lässt sich eine flexible / individuelle Anordnung der Materialbereitstellung realisieren?	nein	Zuführung bereits vereinzelt und nächstmöglich
5. Ist die Zugänglichkeit der Anliefergebinde stark füllstandsabhängig bzw. kann hier techn. unterstützt werden?	nein	
6. Erlaubt eine externe Materialversorgung (ggf. in Verbaureihenfolge) eine "best-point" Montage?	ja	bereits vorhanden
7. Verbessert eine Verkleinerung oder Reduzierung der Anzahl der Anliefergebinde bzw. eine Vorvereinzelung oder Magazinierung die Zugänglichkeit?	nein	s. o.
8. Lässt sich eine flexible / individuelle Anordnung der Werkzeugbereitstellung realisieren?	ja	bereits vorhanden
9. Lässt sich mit entsprechender Verstellbarkeit (siehe oben) die Tätigkeit sowohl stehend als auch sitzend ausführen?	ja	reduzierte Handhabungskräfte mit Manipulator auch sitzend aufbringbar
10. Können die Tätigkeiten entsprechend den dafür möglichen Grundhaltungen günstiger zwischen den Arbeitsplätzen / -stationen verteilt werden?	ja	Verlagerung des anteiligen Auflegens der Mitnehmerflanschsnabe ermöglicht durchgehendes Sitzen
11. Mögliche einsetzbare (und zumindest temporär nutzbare) Stehhilfen oder Abstützungen:	<input checked="" type="checkbox"/> Höhenverstellbarer fest stehender Stuhl mit Fußabstützung <input type="checkbox"/> An Basiseinrichtung angebrachte Sitzhilfe (zum Abstützen / Anlehnen) <input type="checkbox"/> Bewegliche fest eingestellte Sitzhilfe <input type="checkbox"/> Bewegliche höhenverstellbare Sitzhilfe <input type="checkbox"/> Mittfahrstuhlsystem <input checked="" type="checkbox"/> Sonstige: Armauflage für Feinpositionierung	

Abbildung 70: Entwicklung der Haltungsoptimierung und -unterstützung mittels Teil 2.2 der Integrations-Checkliste am Beispiel der Bremsscheibenmontage (in AVG090)


7. Prüfen Sie die Auswirkung auf andere Mitarbeiter und die Arbeitsabläufe:		
1. Helfen die gefundenen Maßnahmen (v.a. bei 5. / Swp. 1 & 2) allen Mitarbeitern? (Wurden diese explizit für das 5. das 50. und das 95. Perzentil geprüft?)	ja	
2. Entstehen zeitliche Nachteile, möglicherweise bei der Nutzung der Hilfsmittel (durch Absitzen, Suchen, Greifen usw.)?	evtl. <i>beim Einnehmen der Sitzposition</i>	
3. Vermeidet eine automatisierte oder sensorgestützte Einstellung der Hilfsmittel zeitliche Nachteile oder Beeinträchtigungen für gesunde Mitarbeiter?	nein	
4. Greifen die Maßnahmen auf Standardhilfsmittel zurück und lassen sie sich ggf. wieder revidieren?	ja	
5. Entstehen zusätzliche Risiken bei der Nutzung der Hilfsmittel (z.B. Stolpergefahr oder einseitige Belastung bei falscher Benutzung)?	nein	
8. Skizzieren Sie Lösungen und Konzepte zur Haltungsoptimierung und -unterstützung (inkl. OWAS-Code):		
Lösungsvorschlag:	ggf. Alternativen:	
		
9. Prüfen Sie die Wirksamkeit der Lösungen:		
Anteil Stehen: <u>10 bis 50</u> %	Anteil Gehen: <u>40</u> %	Anteil Sitzen: <u>10 bis 50</u> %
davon erschwert oder in Zwangshaltung: <u>0</u> %	Lastfall: <input checked="" type="checkbox"/> grün	<input type="checkbox"/> gelb <input type="checkbox"/> rot
Reduzierung der weiteren kritischen Belastungen?	ja	
Sonstiges:		
Können damit (mehr) leistungsgewandelte Mitarbeiter integriert werden?	ja	
Berücksichtigen Sie den erweiterten Lösungsraum zusammen mit anderen technisch-strukturellen Integrationsmaßnahmen!	✓	
Überprüfung der Randbedingungen und der Realisierbarkeit		
10. Prüfen Sie die (Sicherheits-) technischen, baulichen und organisatorischen Randbedingungen:		
<input checked="" type="checkbox"/> Arbeitssicherheit geprüft & gewährleistet, auch bei flexiblen / individuellen Einstellbarkeiten?		
<input checked="" type="checkbox"/> Beachtung besonderer Vorschriften nötig?		
<input type="checkbox"/> Wurde die Teamzusammensetzung geprüft, bzw. integrationsförderlich angepasst?	<i>nicht notwendig</i>	
<input checked="" type="checkbox"/> Wurde die Arbeitsorganisation generell geprüft, bzw. integrationsförderlich angepasst?	<i>Gruppenarbeit besteht bereits</i>	
<input checked="" type="checkbox"/> Wurde eine neue Austattung vorgenommen, bzw. wurden Alternativen simuliert?		
<input type="checkbox"/> Berücksichtigt die Entlohnung weitere Komponenten neben Leistung und Qualität?		
<input checked="" type="checkbox"/> Umsetzung / Nutzung durch Schulung und Anweisung von Vorarbeitern / Meister sichergestellt?		

Abbildung 71: Überprüfung der Haltungsoptimierung und -unterstützung mittels Teil 2.2 der Integrations-Checkliste am Beispiel der Brems scheibenmontage (in AVG090)

Integrations-Checkliste: Teil 2.3 "Leistungsflexibilisierung"

Fragebogennummer: 5 Arbeitsplatz: AVG090 + AVG100

Beschreibung des (unflexiblen / ungünstigen) Ist-Zustandes

Charakterisieren Sie die Taktzeitbindung, die Leistungsanforderungen und die Informationsgestaltung näher:

Gesamttakt: 25 s Schichtdauer: 450 min Schichtanzahl: 2

Taktbindung:
 keine normal enge* Sonstiges: _____
 technikbedingt organisatorisch bedingt

Allgemeine Leistungsanforderung: gering normal hoch** Sonstiges: _____
 Art der Tätigkeiten***: identisch ähnlich stark unterschiedlich
 Geforderte Leistungserbringung: individuell konstant schwankend

Informationsmenge: gering mittel hoch**** Sonstiges: _____
 Informationsinhalt: gleichbleibend leicht variierend stark variierend
 Informationsübermittlung: mündlich visuell (Papier) visuell (Monitor) multimedial

Lastfall: grün gelb rot

Hinweise: * Entkopplung < 1 Takt und mit unmittelbarer Auswirkung auf Ausbringung der gesamten Linie!
 ** Geplanter (REFA) Mitarbeiterleistungsgrad > 100 % und / oder Akkordlohn!
 *** Jeweils am Arbeitsplatz bzw. innerhalb des Systems oder benachbarter Arbeitsplätze.
 **** Eine hohe zu verarbeitende Informationsmenge ist in der Regel zugleich stark variierend und tritt auf, wenn jeweils individuelle Anweisungen für mehrere oder sämtliche Bauteile bzw. Operationen vorliegen!

Quantifizieren Sie die attestierten / festgestellten Einsatzbeschränkungen:

kein Einsatz bei Taktbindung möglich Einsatz nur bei weiter Taktbindung möglich Sonstiges: _____
 Nur reduzierte Informationsaufnahme möglich Sonstige Einschränkungen bzgl. der Informationsaufnahme: Farbenblindheit

Treten weitere relevante Einschränkungen oder kritische Belastungen auf, wie "Stehen, Gehen, Sitzen", "Handhaben von Lasten" oder liegt eine allgemein verminderte Leistungsfähigkeit (< 70 % gem. REFA) vor?

Antwort	Bemerkung
ja	s. Teil 2.1 und 2.2
Sonstiges: _____	

1. Skizzieren Sie die Systemstruktur und ordnen Sie die entsprechenden (REFA-) Zeitanteile zu:

Struktur- und Ausstattungsdarstellung:

Austattung siehe Anlage

Markieren Sie insbesondere: Taktbedingte Wartezeiten
 Puffer (inkl. der Reichweite in Takten)
 Anzahl der an einer Station / einem Arbeitsplatz bearbeitbaren Werkstücke
 Fest getaktete Automatikstationen
 Linienanfang & -ende
 Richtung und Verzweigungen des Materialflusses

2. Skizzieren Sie die Montagereihenfolge und mögliche Freiheitsgrade:

Montagevorranggraph:

Automatisiert (gestrichelt umrandet)
 Manuell (durchgezogen umrandet)

Abbildung 72: Beschreibung des Ist-Zustands für eine Flexibilisierung der Leistungserbringung in Teil 2.3 der Integrations-Checkliste

Flexibilisierung der Leistungserbringung	
4. Prüfen Sie Möglichkeiten zur Unterstützung und Flexibilisierung der Leistungserbringung:	
Frage	Antwort, ggf. zuzüglich Bemerkung oder Lösungsidee
1. Können die Pufferfunktionen von Verkettung und Zuführung erweitert werden oder steht bereits durchgehend mehr als 1 Takt Reichweite (bzw. 1 bis 5 min) zur Verfügung?	ja aktuelle Werkstückträgeranzahl erlaubt max. 2 Takte Puffer => Auffüllen soweit möglich
2. Reduzieren Sie organisatorisch bedingte psychologisch wirkende Abhängigkeiten bei der Leistungserbringung, v.a. im Umlaufprinzip, bspw. durch die Erhöhung der Stations-anzahl, durch Teil-Umläufen oder durch Springereinsatz!	n. rel. Vormontageplätze sowie AVG010 & AVG020 weitgehend entkoppelt und Umlauf wegen weiter Wegstrecken nicht geeignet;
3. Ist das System nach arbeitspsychologischen Aspekten optimal abgetaktet, d.h. sind Wartezeiten, belastende bzw. anspruchsvolle Tätigkeiten gleichmäßig verteilt?	ja Taktzeitausgleich für Nutzung weiterer Materialbefüllfähigkeiten vorgesehen, ggf. auch anderweitig nutzbar
4. Lässt sich der Systemtakt, insbesondere die Geschwindigkeit des Systems anpassen und wird die auch genutzt, je nach Tageszeit, variantenmix-abhängigem Lastkollektiv oder Gruppenleistung?	ja aber aktuell nicht realisiert
5. Können neben dem One-Piece-Flow im One-Set-Flow, z.B. mit Mehrfachwerkstückträgern, auch mehrere (min. 2) Werkstücke in einem Takt bearbeitet werden bevor eine Weitergabe erfolgt und damit die Verteilzeit erhöht werden? (Zur Wirtschaftlichkeitssteigerung z.B. mit Beidhandarbeit?)	nein Werkstückträger sind explizit für aktuelle Verwendung ausgelegt; Verdoppelung zudem > 600 mm und damit ungeeignete Greifwege
6. Können Inhalte z.B. von benachbarten Arbeitsplätzen / -stationen zusammengelegt und dupliziert werden und wird damit der Arbeitsinhalt weniger belastend und zugleich abwechslungsreicher, bei erhöhter Takt- und Verteilzeit?	ja AVG055 + AVG060 AVG090 + AVG100 zudem sind für temporär erhöhte Stückzahlen 4 "Notarbeitsplätze" in der Linie vorgesehen!
7. Lassen sich einzelne Arbeitsplätze oder v.a. neue entstehende Parallelarbeitsplätze (s. 4.6) mit erhöhter Taktzeit im Nebenfluss anbinden?	nein es können keine weitergabefähigen (= handhabbaren) Baugruppen definiert werden
8. Können zur spezifischen Integration temporär oder dauerhaft "organisatorische Puffer" von deutlich größerer Reichweite eingerichtet werden, welche von stärkeren Gruppen später abgearbeitet werden?	nein
9. Können zur spezifischen Integration hinderliche Arbeitsinhalte temporär bzw. dauerhaft auf andere Stationen verlagert oder umverteilt werden?	ja Anteiliges Auflegen verschiedener Teile in die Zuführung (Bremsmittel, Mitnehmerflansch, für weitere Bauteile denkbar); Ansonsten Freiheitsgrade durch kleinteilige Fügereihenfolge und angepasste Anlagentechnik eingeschränkt!
10. Reicht der Zeitangebotsgewinn durch den Einsatz von (zusätzlichen) Springern aus um die Verteilzeit entsprechend zu erhöhen und zusätzlich die Nutzung integrations-notwendiger Hilfsmittel (s. Teil 2.1 & 2.2) zu fördern?	ja damit könnte Taktentkopplung auf ca. 5 min. erhöht werden
11. Können zur spezifischen Integration temporär oder dauerhaft Inhalte und Tätigkeiten von Dienstleistungsbereichen, bspw. der Materialversorgung & Logistik, übernommen werden?	ja Auslagerung der Materialbereitstellung (vereinzelt und ggf.vorkommissioniert)
12. Können zur spezifischen Integration temporär oder dauerhaft Inhalte und Tätigkeiten von externen Dienstleistern oder Zulieferern übernommen werden?	ja Auslagerung der Materialbereitstellung (vereinzelt und ggf.vorkommissioniert)
13. Können zur spezifischen Integration temporär (ggf. mobile) Parallel- oder Unterstützungsarbeitsplätze realisiert werden?	ja s. Notarbeitsplätze
14. Können zur spezifischen Integration universelle und zugleich mobile, temporär nutzbare Automatisierungslösungen (z. B. mittels CoBots) entwickelt werden?	nein ggf. besser vorhandene Automatikstationen erweitern
15. Entspricht die Struktur und Darstellung der Information den inhaltlichen Anforderungen und wird sie gleichzeitig den Einsatzbeschränkungen vollständig gerecht?	ja
16. Können haptische oder dezentrale Rückmeldungen / Informationen die Arbeit unterstützen (insbesondere bei vorliegen ungünstiger / störender Umfeldbedingungen)?	nein
17. Sind die Montagetätigkeiten und die Prozesstechnik vollständig fehlersicher gestaltet (im Sinne von Poka Yoke)?	ja

Abbildung 73: Auswahl von Flexibilisierungsmaßnahmen mittels Teil 2.3 der Integrations-Checkliste

5. Prüfen Sie die Auswirkung auf andere Mitarbeiter und die Arbeitsabläufe:	
1. Helfen die gefundenen Maßnahmen allen Mitarbeitern? (Oder führt insbesondere die inhaltliche Erweiterung und die Erhöhung der Taktzeit zu neuen Einsatzbeschränkungen?)	ja
2. Besteht die Gefahr der Stigmatisierung der "neuen" Arbeitsplätze und ggf. gleichzeitig ein übertriebener und damit langfristig schädlicher "Hochleistungs-" Anreiz an anderer Stelle oder ein falsches Anspruchsdenken?	nein
3. Lässt sich eine ideale Informationsdarstellung auch für die geänderten Arbeitsplätze erreichen?	nein
4. Greifen die Maßnahmen auf Standards zurück und lassen sie sich ggf. wieder revidieren?	ja
6. Skizzieren Sie die neue Systemstruktur und stellen Sie die entsprechenden Freiheitsgrade und Änderungen dar:	
Lösungsvorschlag:	ggf. Alternativen:
<p>Linie 1</p> <p>Vormontagebereich</p>	<p>Austaktung siehe Anlage, zusätzlich / wahlweise mit</p> <ul style="list-style-type: none"> - Springereinsatz; - externer Materialbefüllung; - Unterstützungsarbeitsplätze für AVG010 & AVG020, AVG070 & AVG090, AVG100 & AVG130,
7. Prüfen Sie die Wirksamkeit der Lösungen:	
Taktbindung nach Optimierung: <input checked="" type="checkbox"/> weiter <input type="checkbox"/> gleich <input type="checkbox"/> enger* <input type="checkbox"/> Sonstiges: _____ Informationsanforderungen: <input type="checkbox"/> geringer <input checked="" type="checkbox"/> gleich <input type="checkbox"/> höher**** <input type="checkbox"/> Sonstiges: _____ Lastfall: <input checked="" type="checkbox"/> grün <input type="checkbox"/> gelb <input type="checkbox"/> rot	
Reduzierung der weiteren kritischen Belastungen?	ja
Sonstiges:	
Können damit (mehr) leistungsgewandelte Mitarbeiter integriert werden?	ja
Berücksichtigen Sie den erweiterten Lösungsraum zusammen mit anderen technisch-strukturellen Integrationsmaßnahmen!	<input checked="" type="checkbox"/>
Überprüfung der Randbedingungen und der Realisierbarkeit	
9. Prüfen Sie die (Sicherheits-) technischen, baulichen und organisatorischen Randbedingungen:	
<input checked="" type="checkbox"/> Arbeitssicherheit geprüft & gewährleistet, auch bei mobilen / temporären Lösungen?	_____
<input checked="" type="checkbox"/> Beachtung besonderer Vorschriften nötig?	_____
<input type="checkbox"/> Wurde die Teamzusammensetzung geprüft, bzw. integrationsförderlich angepasst?	nicht notwendig
<input checked="" type="checkbox"/> Umsetzung / Nutzung durch Schulung und Anweisung von Vorarbeitern / Meister sichergestellt?	_____

Abbildung 74: Überprüfung der Flexibilisierungsmaßnahmen mittels Teil 2.3 der Integrations-Checkliste

Integrations-Checkliste:	
Teil 3 "Prüfung, Realisierung und Weiterführung der Maßnahmen"	
Fragebogennummer:	<u>1</u> Arbeitsplatz / Arbeitssystem: <u>Radträgermont.</u>
Bewertung und Auswahl der Maßnahmen	
1. Bewerten und vergleichen Sie die erarbeiteten Lösungen:	
Listen Sie alle gefundenen Lösungen (inkl. Alternativen) auf!	<input checked="" type="checkbox"/>
Prüfen und ggf. quantifizieren Sie jeweils die Reduzierung der kritischen Belastungen!	<input checked="" type="checkbox"/>
Prüfen und ggf. quantifizieren Sie das Integrationspotenzial der Maßnahmen!	<input checked="" type="checkbox"/>
Benennen und ggf. quantifizieren Sie jeweils den Zusatznutzen!	<input checked="" type="checkbox"/>
Benennen und ggf. quantifizieren Sie das technische Risiko!	<input checked="" type="checkbox"/>
Schätzen Sie den Investitionsaufwand (wenn möglich im Detail) ab!	<input checked="" type="checkbox"/>
Quantifizieren Sie den Planungsaufwand (Kosten und Zeit) separat!	<input checked="" type="checkbox"/>
Führen Sie eine Nutzwert-Kosten-Analyse durch!	<input checked="" type="checkbox"/>
Wählen Sie die Lösungen mit dem günstigsten Nutzen-Aufwand-Verhältnis aus!	<input checked="" type="checkbox"/>
Aktualisieren Sie den Profilvergleich unter Berücksichtigung / Abschätzung der geplanten weiterführenden Maßnahmen!	<input checked="" type="checkbox"/>
Können die gesteckten Ziele (aus Teil 1) erreicht werden?	<input checked="" type="checkbox"/>
Realisierung der Maßnahmen	
2. Planen Sie die Umsetzung und Realisierung:	
Wer koordiniert die Umsetzung verantwortlich?	<u>N.N.</u>
Welche Dienstleister werden benötigt?	<u>Manipulatorhersteller; Anlagenbau xy;</u>
Sind weitere Unternehmensbereiche betroffen?	<u>Montage, interne Logistik, Planung, Arbeitssicherheit;</u>
Erstellen Sie einen Projektplan!	<input checked="" type="checkbox"/> abgelegt unter: <u>Pfad xy</u>
Rückmeldung der Dienstleister?	<input checked="" type="checkbox"/> <u>Angebot des Manipulatorherstellers</u>
Freigabe?	<input checked="" type="checkbox"/>
Beachten Sie relevanten Vorschriften für Änderungen beziehungsweise Investitionen!	<input checked="" type="checkbox"/>
Weiterverfolgung der Maßnahmen	
3. Planen Sie die Weiterführung der Integrationsbemühungen: (v.a. wenn (voraussichtlich) nicht alle in Teil 1 definierten Ziele erreicht werden)	
Ist eine Nachprüfung der Wirksamkeit der Integrationsmaßnahmen geplant?	<input type="checkbox"/> am: _____
mit: <input checked="" type="checkbox"/> Arbeitsplatzbewertung <input checked="" type="checkbox"/> Mitarbeiterbefragung <input checked="" type="checkbox"/> Workshop	
Wurden weitergehende Integrationsmöglichkeiten identifiziert?	<input type="checkbox"/>
Welchen Bereichen sind diese zuzuordnen?	<input type="checkbox"/> Produktgestaltung <input checked="" type="checkbox"/> Anlagentechnologie <input type="checkbox"/> Organisation <input type="checkbox"/> Qualifikation <input type="checkbox"/> Sonstige: <u>verstellbare Werkstückträger</u>
Sind diese entsprechend dokumentiert?	<input checked="" type="checkbox"/>
Ist eine Wiedervorlage zielführend?	<input checked="" type="checkbox"/> am: <u>bei Neuplanung</u>
Konnten die Ideen einem entsprechenden Fachbereich weitergeleitet werden?	<input type="checkbox"/>
Sonstiges:	_____

Abbildung 75: Abschließende Planung der Realisierung und Weiterführung der technisch-strukturellen Integrationsmaßnahmen mittels Teil 3 der Integrations-Checkliste für das betrachtete Montagesystem

Nutzwertanalyse Bewertung: 1-5 (1= Schlecht; 5= Ausgezeichnet)		0) IST-Zustand zwei AVGs ohne Manipulatoren		1) Arbeitsplatz- optimierung mit Manipulatoren		2) Zusammenfassung und Duplizierung mit Rollwägen + Manipulator	
Zielkriterien	Gewicht in %	Bewertung	Teilnutzwert	Bewertung	Teilnutzwert	Bewertung	Teilnutzwert
Ergonomie (EBI)	25	1	25	4	100	3	75
Einsatz Leistungsgewandelter	25	1	25	4	100	5	125
Null-Last-Arbeitsplatz	10	1	10	4	40	1	10
Flexibilität	20	3	60	2	40	4	80
Materialfluss / Bereitstellung	10	3	30	3	30	2	20
Flächenbedarf	10	3	30	3	30	2	20
Nutzwert			180		340		330

Abbildung 76: Nutzwertanalyse der technisch-strukturellen Integrationsmaßnahmen für die Arbeitsplätze AVG090 und AVG100

Kostenabschätzung für 1 Linie	0) IST-Zustand zwei AVGs ohne Manipulatoren	1) Arbeitsplatz- optimierung mit Manipulatoren	2) Zusammenfassung und Duplizierung mit Rollwägen + Manipulator
Zusatzinvest in Euro	0	51.000	91.000
Manipulator für AVG090	0	18.000	0
Manipulator für AVG100	0	28.000	
Manipulator für AVG090 +100	0	0	56.000
Doppelschrauber für AW und BS (2x)	0	0	10.000
Umbau der Montagelinie	0	5.000	25.000
Umbau Werkstückträger	0	0	0
Anlagenkostenveränderung p.a. in Euro	0	19.550	34.883
Arbeitszeiteinsparung gesamt in %	0,0	7,5	2,0
Betriebskostenveränderung p. a. in Euro	0	3.050	30.483

Abbildung 77: Kostenabschätzung und resultierende Betriebskostenveränderung für die technisch-strukturellen Integrationsmaßnahmen an den Arbeitsplätzen AVG090 und AVG100