



BESCHREIBUNG DER DYNAMIK MANUELLER OPERATIONEN IN LOGISTISCHEN SYSTEMEN

Auftraggeber: Bundesvereinigung Logistik e. V. (BVL)
im Auftrag der
Arbeitsgemeinschaft industrieller For-
schungsvereinigungen "Otto-von-
Guericke" e. V. (AiF)

Auftragnehmer: Technische Universität Dresden
Fakultät Maschinenwesen
Institut für Technische Logistik und
Arbeitssysteme

Bearbeiter: Krengel, M.,
Schmauder, M.,
Schmidt, T.,
Turek, K.

Datum: Dresden, 20.01.2010

Schlussbericht des aus Haushaltsmitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto-von-Guericke" e. V. (AiF) im Auftrag der Bundesvereinigung Logistik (BVL) e. V. geförderten Forschungsvorhaben (AiF-Nr. 15263 BR).

Herausgegeben von:

Technische Universität Dresden

Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme

Prof. Dr.-Ing. Martin Schmauder

Professur für Arbeitswissenschaft

Telefon: +49 351 463-33327

Telefax: +49 351 463-37283

<http://tu-dresden.de/mw/tla>

Prof. Dr.-Ing. habil. Thorsten Schmidt

Professur für Technische Logistik

Telefon: +49 351 463-32538

Telefax: +49 351 463-35499

<http://tu-dresden.de/mw/tla>

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben – auch nur auszugsweise – vorbehalten.

INHALTSVERZEICHNIS

Tabellenverzeichnis	4
Abbildungsverzeichnis	4
1 Kurzfassung der Ergebnisse	5
2 Ausgangssituation und Zielsetzung	6
3 Literatur zum Forschungsthema	7
3.1 Literaturanalyse	7
3.2 Literaturlauswertung	9
4 Empirische Tätigkeitsdaten	11
4.1 Datenbeschaffung	11
4.2 Verifikation der Daten	11
4.3 Kommissioniertätigkeit	12
4.3.1 Tätigkeitsbeschreibung	12
4.3.2 Greifzeitauswertung nach Tätigkeitsaufwand	14
4.3.3 Zeitgradauswertung vorgangsbezogen insgesamt	16
4.3.4 Zeitgradauswertung mitarbeiterbezogen insgesamt	18
4.3.5 Zeitgradauswertung mitarbeiterbezogen einzeln	19
4.3.6 Zeitliche Dynamik - Korrelationsanalyse	20
4.4 FlieSSbandstudie	21
4.4.1 Einfluss der Selbstbestimmung	21
4.4.2 Einfluss der Übung	22
4.5 Motorenmontage	22
4.5.1 Einfluss der Ausbildung	23
4.5.2 Einfluss des Alters	24
4.5.3 Einfluss der Betriebszugehörigkeit	25
4.6 Montage von Elektrogeräten	26
4.6.1 Einfluss des Entlohnungssystems	26
5 Zusammenfassung und Ausblick	27
Literaturverzeichnis und ausgewertete Quellen	29

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Einflussfaktoren auf die menschliche Arbeitsleistung nach [HAR, 85]	8
Tabelle 2: Wirkungszusammenhänge zur menschlichen Arbeitsleistung	10
Tabelle 3: Randkriterien der Datenanalyse.....	12
Tabelle 4: Datenumfang der Datenanalyse	13
Tabelle 5: Regression Greifzeiten (Mittelwerte)	15
Tabelle 6: Regression Greifzeiten (Medianwerte)	15
Tabelle 7: Einfluss von Tätigkeitsmerkmalen auf Fehlerrate und Leistungsstreuung	21
Tabelle 8: Stichprobenumfang der Alters- und Betriebszugehörigkeitsklassen	23
Tabelle 9: Mittlerer Zeitgrad und Streuung in Alters- und Betriebszugehörigkeitsklassen	26

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Der Leistungsbegriff in der Ergonomie nach [SCH, 93]	7
Abbildung 2: Mittelwerte Greifzeiten nach Stückzahl – Kommissioniertätigkeit	14
Abbildung 3: Mediane Greifzeiten nach Stückzahl – Kommissioniertätigkeit.....	14
Abbildung 4: Greifzeiten – Kommissioniertätigkeit	15
Abbildung 5: Zeitgrad Quantile - Kommissioniertätigkeit	16
Abbildung 6: Zeitgrad (Median) insgesamt - Kommissioniertätigkeit.....	17
Abbildung 7: Zeitgrad (Mittelwert) insgesamt – Kommissioniertätigkeit.....	17
Abbildung 8: Vergleich Zeitgrad Verteilung – Kommissioniertätigkeit	17
Abbildung 9: Zeitgradverteilung Mitarbeiter- Kommissioniertätigkeit.....	18
Abbildung 10: Vergleich Zeitgrad Mitarbeiter Wh2- Kommissioniertätigkeit	18
Abbildung 11: Zeitgrad Quantile Einzel-Mitarbeiter – Kommissioniertätigkeit.....	19
Abbildung 12: Zeitgradverteilung Einzel-Mitarbeiter - Kommissioniertätigkeit	19
Abbildung 13: Scatterplot relative Pickzeit eines MA – Kommissioniertätigkeit	20
Abbildung 14: Korrelationsanalyse der Pickzeit – Kommissioniertätigkeit	21
Abbildung 15: Leistungsverteilungsentwicklung - Fließbandstudie	22
Abbildung 16: Zeitgrad nach Ausbildung – Motorenmontage	23
Abbildung 17: Standardabweichung der Leistung nach Ausbildung – Motorenmontage	24
Abbildung 18: Zeitgrad nach Alter - Motorenmontage	24
Abbildung 19: Standardabweichung nach Alter – Motorenmontage	25
Abbildung 20: Zeitgrad nach Betriebszugehörigkeit - Motorenmontage	25
Abbildung 21: Standardabweichung nach Betriebszugehörigkeit – Motorenmontage	26
Abbildung 22: Mittlerer Zeitgrad je Person - Montage von Elektrogeräten	27

1 KURZFASSUNG DER ERGEBNISSE

Bei dem Entwurf und der Planung neuer Systeme wie auch für die Steuerung bestehender Systeme ist eine gesicherte Kenntnis über die Dauer von manuellen Tätigkeiten von großer Bedeutung. Die heute eingesetzten Verfahren zur Vorgabezeitbestimmung (z. B. REFA, MTM) erlauben nur Aussagen zur mittleren Dauer einzelner Arbeitsvorgänge. Es werden weder Aussagen zur Wirkung von Einflussfaktoren im Hinblick auf zeitliche Veränderungen noch zu statistischen Verteilungen der Vorgangsdauer z. B. über den Tagesverlauf gemacht.

Durch Auswertung von betrieblichen Leistungsdaten und eine unterstützende Literaturanalyse konnten relevante Einflussfaktoren auf die Geschwindigkeit von manuellen Tätigkeiten identifiziert und in ihrer Wirkung abgeschätzt werden.

Die aufgrund der Untersuchungen als relevant eingeschätzten Einflussfaktoren sind

- Übungsgrad bzw. Arbeitserfahrung,
- Ausbildungsstand und
- Entlohnungssystem.

Diese Faktoren haben Einfluss auf die absolute Höhe und auf die Streuung der menschlichen Arbeitsleistung.

Die Häufigkeitsverteilungen der betrieblichen Leistungsdaten (relative Zeitgrade der Artikelgreifzeiten) wurden mit Verteilungsdichtefunktionen verschiedener stetiger Zufallsverteilungen verglichen. Die Parameter der Verteilungsfunktionen für eine bestmögliche Datenanpassung wurden über eine Fehlerminimierung mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate (MKQ) bestimmt. Im Ergebnis zeigte sich, dass insbesondere die logarithmische Normalverteilung und die Weibull-Verteilung zur Modellierung der Leistungsverteilung geeignet sind.

Mit Hilfe dieser Erkenntnisse ist es möglich, manuelle Tätigkeiten, insbesondere logistische Tätigkeiten, genauer zu modellieren und somit den Arbeitskräftebedarf bzw. Puffergrößen genauer zu dimensionieren. Das ist die Basis für eine wirtschaftliche und gleichzeitig menschengerechte Gestaltung von Logistiksystemen.

Das nachfolgend vorgestellte Forschungsvorhaben (AiF - Nr. 15263 BR) trägt den Titel: „Beschreibung der Dynamik manueller Operationen in logistischen Systemen“ (Kurztitel: Dynamik manuelle Operationen).

Es wurde aus Haushaltsmitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen "Otto von Guericke" e. V. (AiF) im Auftrag der Bundesvereinigung Logistik (BVL) e. V. gefördert.

2 AUSGANGSSITUATION UND ZIELSETZUNG

Manuelle Tätigkeiten werden in der Logistik trotz zunehmender Automatisierung auch künftig eine große Bedeutung behalten, z. B. in Kommissionierung und (Vor-)Montage. Eine statistisch gesicherte Kenntnis über die Dauer von manuellen Tätigkeiten ist daher von großer Wichtigkeit für den Entwurf und die Planung neuer Systeme wie auch für die Disposition und Steuerung der Systeme. Die heute eingesetzten Verfahren zur Zeitbestimmung (z. B. REFA, MTM) erlauben dabei nur generalisierte Aussagen zur mittleren Dauer manueller Tätigkeiten. Aussagen zu statistischen Verteilungen der Dauer einzelner Bewegungen z. B. über den Arbeitstag hinweg und zur Wirkung von Einflussfaktoren sind damit jedoch nicht möglich. Dieses Forschungsprojekt betrachtet statistische Eigenschaften der Dauer von manuellen Tätigkeiten sowie die Modellierung der Dauer der Tätigkeit durch Wahrscheinlichkeitsverteilungen.

Im Rahmen des Vorhabens wurden folgende Forschungsfragen formuliert.

- Frage 1 Welche Faktoren beeinflussen die Dauer von manuellen Tätigkeiten (Handhabungsvorgänge) und wie ist deren Wirkung?
Mit der Kenntnis relevanter Einflussfaktoren und ihrer Wirkung auf die Leistungserbringung kann die Planung, Gestaltung und Steuerung von (Arbeits-)Systemen optimiert werden.
- Frage 2 Welche statistischen Verteilungen sind geeignet, um die Dauer von manuellen Tätigkeiten zu beschreiben?
Mit der Kenntnis einer geeigneten Verteilungsfunktion und der dazugehörigen Parameter können manuelle Tätigkeiten z. B. bei der Simulationen von logistischen Systemen genauer und realitätsnäher berücksichtigt werden.

Zur Beantwortung dieser Fragen wurden empirische Daten zur Dauer von manuellen Tätigkeiten gesammelt und strukturiert. Diese Daten wurden nachfolgend durch Plausibilitätskontrollen und Besichtigungen vor Ort verifiziert.

Ebenso wurden durch Besichtigungen und Gespräche weiterführende Informationen zu den vorhandenen Rahmenbedingungen in Erfahrung gebracht, die bei der Analyse und statistischen Auswertung der Daten einbezogen worden.

Parallel dazu wurde eine Literaturanalyse und -auswertung hinsichtlich bekannter Einflussfaktoren und Verteilungsfunktionen durchgeführt.

3 LITERATUR ZUM FORSCHUNGSTHEMA

3.1 LITERATURANALYSE

Die Dauer manueller Tätigkeiten bzw. allgemein die menschliche Arbeitsleistung wird von vielen Faktoren direkt bzw. indirekt beeinflusst (siehe Abbildung 1).

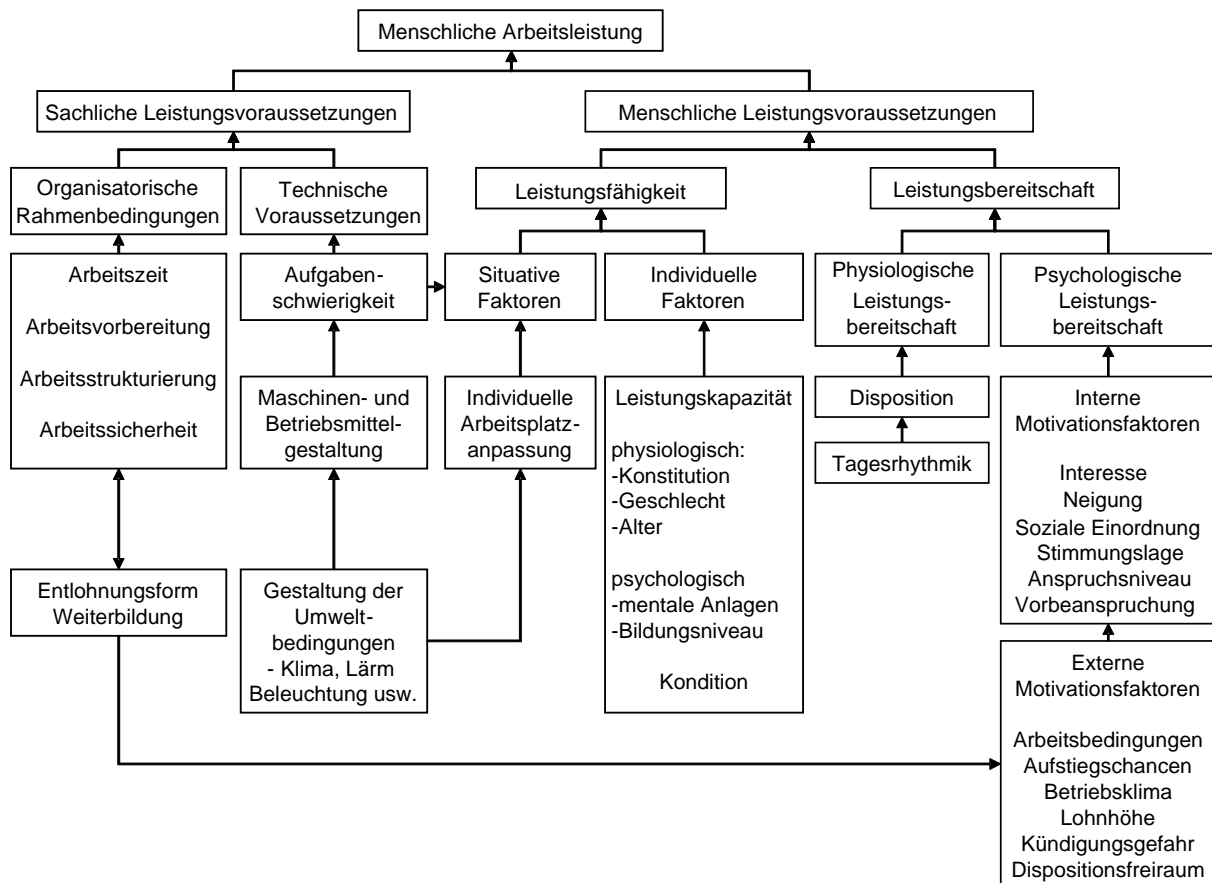


Abbildung 1: Der Leistungs begriff in der Ergonomie [SCH, 93]

Die Faktoren können dabei unterstützend, behindernd, aber auch je nach Situation und Person unterschiedlich wirken.

Da davon ausgegangen werden kann, dass Arbeitssysteme so gestaltet sind, dass alle notwendigen technischen Voraussetzungen (Betriebs- und Arbeitsmittel bzw. auch Verkettungsmittel) und organisatorischen Rahmenbedingungen (Arbeitsablauf sowie Aufbau- und Ablauforganisation) der Art sind, dass sie die Leistungserbringung des Menschen nicht einschränken oder beeinträchtigen, wurden mögliche Einflüsse der sachlichen (technische und organisatorische) Leistungsvoraussetzungen nicht weiter untersucht.

Ebenso wurde der Einfluss der Arbeitsaufgabe (z. B. Schwierigkeit, Genauigkeit) nicht weiter betrachtet, da sich dieser z. B. mit MTM - Daten zeigen lässt.

Somit erfolgte eine Konzentration auf die menschlichen Leistungsvoraussetzungs-faktoren.

Dabei wurden folgende Annahmen / Einschränkungen getroffen:

- Einflussfaktoren, die ausschließlich durch außerbetriebliche Einflüsse bzw. persönliche Aspekte bedingt sind, wurden nicht beachtet.

- Einflussfaktoren, über die bei der Simulation der Arbeitssysteme (d. h. vor deren eigentlichem Existieren) keine Kenntnisse existieren können, werden ebenfalls nicht betrachtet.

Die Literaturanalyse hatte dabei zwei Ziele:

- zum einem sollten quantitative und qualitative Aussagen zum Wirken der Einflussfaktoren: Geschlecht, Alter, Kondition, Tages- und Wochenrhythmik, Ermüdung und Motivation (siehe Tabelle 1 **fett** hervorgehobene Einflussfaktoren)

und

- zum anderen generelle Aussagen zur Streuung der menschlichen Arbeitsleistung zusammengetragen und ausgewertet werden.

Tabelle 1: Einflussfaktoren auf die menschliche Arbeitsleistung [HAR, 85]

Leistungsfähigkeit		Leistungsbereitschaft	
Physiologische/ Physische Komponenten	Psychologische Komponente	Physiologische/ Psychische Komponente	Psychologische Komponente
<p><u>Statische Eigenschaften</u> Geschlecht, Körperbau, Ethnische Herkunft</p> <p><u>Dynamische Eigenschaften</u> Körperkraft, Ausdauer</p> <p>Leistungsfähigkeit der (Sinnes-)Organe</p> <p>körperliche Geschicktheit, Beweglichkeit</p> <p>Auffassungsgabe, Konzentrationsfähigkeit, Merkfähigkeit</p> <p><u>Einflussgrößen</u> Alter, Umgebungsbedingungen, Leistungsbeeinträchtigungen (Erkrankungen)</p>	<p><u>Statische Eigenschaften</u> Intelligenz</p> <p><u>Dynamische Eigenschaften</u> Ausbildung, Qualifikation, Wissensstand, Erfahrung</p> <p>Auffassungsgabe Konzentrationsfähigkeit, Merkfähigkeit</p>	<p><u>Kondition</u> Übung, Training</p> <p><u>Aktuelle Disposition</u> Tages-, Wochen-, Jahresrhythmik</p> <p>Erkrankungen</p> <p><u>Ermüdung</u> biologische Ermüdung, Arbeitsermüdung, Pausengestaltung</p>	<p><u>innere Motivation</u> Befriedigung elementarer Bedürfnisse, Sicherheitsbedürfnis, soziale Bedürfnisse, Selbstverwirklichungsbedürfnis, Stimmungslage, Allgemeinbefinden</p> <p><u>äußere Motivation</u> Arbeitsbedingungen, Arbeitszeit, Arbeitsplatzsicherheit, Entlohnung, Feedback, Karrierechancen, Betriebs- und Arbeitsklima</p> <p><u>Ermüdung</u> Arbeitsermüdung, Antriebsermüdung</p>

3.2 LITERATURAUSWERTUNG

Im Rahmen der Literaturlauswertung wurden insgesamt 69 Quellen analysiert, darunter auch Metastudien, die eine Vielzahl von Studien, Versuchen oder Untersuchungen betrachten (z. B. [PAS, 82] mit 134 Studien), so dass der Umfang der erfassten Aussagen insgesamt deutlich höher ist. Eine Übersicht der ausgewerteten Quellen ist im Literaturverzeichnis gegeben.

Insgesamt kann festgehalten werden, dass gefundene Aussagen zu Wirkungen bzw. Einflussfaktoren in der Mehrzahl monokausale Zusammenhänge qualitativ beschreiben, z. B. in [SCH, 65]: *Ermüdung bewirkt reversible Leistungs- und Funktionsminderung.*

Vereinzelt sind Aussagen zu finden, die quantitative Zusammenhänge beschreiben, z. B. HELLERSTEIN (in [SCH, 06]): Beschäftigte über 55 Jahre [sind] durchschnittlich 30 % produktiver als Beschäftigte zwischen 35-54 Jahre, diese [sind] wiederum durchschnittlich 20 % produktiver als Beschäftigte unter 30 Jahre¹.

Ebenfalls lassen sich nur vereinzelt Aussagen finden in denen die Wirkungen zweier oder mehrerer Faktoren miteinander verglichen werden, z. B. [AVO, 90]: *Die Dauer/Länge der Arbeitserfahrung hat einen höheren Einflusswert auf die Arbeitsleistung als das Alter.*

Die wenigen gefundenen Aussagen zur Streuung der menschlichen Arbeitsleistung sind zu meist der Art, dass Faktoren genannt werden, die die Streuung erhöhen oder verringern, z. B. [LUC,98]: *die Streuung der individuellen Fähigkeiten ist bei älteren Mitarbeitern dominierender als deren mittlere Abnahme.*

Es lassen sich weiterhin vereinzelt Aussagen zur Größe der Streuung finden, wie z. B. [LAU, 90]: relative Streubreite beträgt bei motorischer Leistung (Geschicklichkeit) 257% und bei reaktiver Leistung (Merkfähigkeit) 643%.

Keine Aussagen konnten hingegen zur Art der Streuung gefunden werden.

Zusammenfassend muss somit gesagt werden, dass ausgehend von der Literatur in Bezug auf die Einflüsse und Streuung der menschlichen Arbeitsleistung

- nur einzelne eindeutige konkrete Zusammenhänge bekannt sind,
- aufgrund und trotz der Komplexität des Themas hauptsächlich Tendenzen und Monokausalitäten beschrieben sind, deren Zusammenwirken im Wesentlichen aber unbekannt ist und
- zur Größe und Art der Streuung wenige bzw. keine Aussagen existieren.

Die gefundenen Zusammenhänge sind in komprimierter Form in nachfolgender Tabelle 2 dargestellt.

¹ Anmerkung: Diese Aussage ist als solche inhaltlich umstritten, ein allgemein anerkannter Zusammenhang zwischen Alter und Leistung existiert zurzeit nicht.

Tabelle 2: Wirkungszusammenhänge zur menschlichen Arbeitsleistung

Einflussfaktor	Ausprägung, Differenzierung bzw. Wirkungsmechanismen des Faktors	Ausprägung der Leistung											
		Leistung	Produktivität	Fehlerrate	Ermüdung	Leistung nach Pause	Körperkraft	Finger- und Handfertigkeit	Bewegungsgeschwindigkeit	Merkfähigkeit	Psychische Belastungen	Motivation / Zufriedenheit	Schwankung
Geschlecht	Mann im Vgl. zur Frau				+	+	+	-			(-)		
	Frau im Vgl. zum Mann				-	-	-	+			(+)		
Alter	mit steigendem Alter (msA)		(+/-) U 40		+		-	-	-		(+/-)	U 40	
	psych. Belastungen msA			(-)						-			
	Tätigkeiten mit geringem geistigen Anspruch msA	-								-			
Betriebszugehörigkeit	mit steigender Zugehörigkeit		U 3										
Training	hoher Trainingsgrad						+	+				+	-
Weiterbildung	als sinnvoll empfunden		+										
Erfahrung	höhere Einfluss als Alter	+											-
Übung	hoher Übungsgrad	+										+	-
Tageszeit	Tagesleistungskurven (TLK)	TLK		TLK	TLK					TLK			
	Zeitpunkt	6DL											
Ermüdung	geringeren Einfluss als biol. Rhythmus (TLK)	-		+			-			-		-	+
Pausengestaltung	sinnvolle Kurzpause (ohne Verlernen)	+										+	-
	bei visuellen Aufgaben					-							
Arbeitsbedingungen / Arbeitsumgebungsfaktoren	als nicht belastend empfundene Bedingungen		+										
	Lärm			+									
	zu hohe Temperaturen	-	-	+									
Psychische Belastungen	als hoch empfunden	-	-	+	+								+
Zeitdruck	als hoch empfunden			-							+		-
Selbstbestimmung	der Leistungserbringung		+	-									
Gruppenarbeit	Gruppenleistung		+	-								(+)	-
Entgeltsystem	gerecht empfunden, unmittelbare Wirkung	+	+										
Führung	als gut empfunden		+										
Motivation	stärkster Zusammenhang mit Leistung	+	+	-									

Legende

- „+“ positive / verstärkende Wirkung
- „-“ negative / verringernde Wirkung
- U40/ U3 U-Funktion mit Maximum bei 40 bzw. 3 Jahren
- TLK Wirkung entsprechend des Verlaufs der Tagesleistungskurve
- „(+/-)“ widersprüchliche Aussagen
- „(+)/“(-)“ unsichere, eher vermutete Wirkung
- 6DL Durchschnittsleistung ca. 6 Uhr

4 EMPIRISCHE TÄTIGKEITSDATEN

4.1 DATENBESCHAFFUNG

Um die Verteilung der menschlichen Leistung möglichst genau und umfassend beschreiben zu können, wurden empirische Daten von verschiedenen Tätigkeiten analysiert.

Die Tätigkeiten mussten folgende Anforderungen erfüllen.

- Der Anteil manueller Tätigkeitsbestandteile sollte stark überwiegen, mentale Tätigkeitsbestandteile sollten im Rahmen einfacher Kontroll- und Prüfaufgaben liegen.
- Die Tätigkeitserbringung sollte möglichst selbstbestimmt erfolgen können (keine Zwangstaktung durch andere Personen oder Prozesse).
- Für die Tätigkeiten sollten Leistungsvorgaben existieren, entweder in Form von Sollzeiten oder von Stückzahlen.

An die Daten wurden folgende Anforderungen gestellt:

- Die Daten lassen eine personenbezogene Leistungsaufschlüsselung zu.
- Die Leistung kann möglichst tätigkeits- bzw. auftragsbezogen oder zumindest über einen kurzen Zeitraum zugeordnet werden.
- Die Leistungsvorgaben können entsprechend zugeordnet werden.
- Die Menge der Daten lässt eine statistische Auswertung.
- Informationen zu den Personen, den Arbeitsbedingungen und der Tätigkeit sind vorhanden.

Insgesamt konnten sechs Datensätze beschafft werden, die den oben formulierten Anforderungen genügten. Die Datensätze beziehen sich dabei auf

- Kommissioniertätigkeiten in drei Warenlagern (s. Abschnitt 4.3),
- eine Studie zur Wirkung von Fließbandarbeit (s. Fließbandstudie, Abschnitt 4.4),
- Motorenmontage (s. Abschnitt 4.5) und
- Montage von Elektrogeräten (s. Abschnitt 4.6).

4.2 VERIFIKATION DER DATEN

Die Verifikation der Daten erfolgte zum einen durch Plausibilitätsprüfungen der Datensätze. Weiterhin wurden in allen beteiligten Unternehmen Besichtigungen durchgeführt, um die dortigen Rahmenbedingungen in der Auswertung zu berücksichtigen.

Eine unmittelbare Verifikation der Daten durch begleitende Zeitaufnahmen wurde dabei nicht durchgeführt, da dies zum einen durch die Unternehmen nicht erwünscht war und zum anderen bei der Palette der durchgeführten Tätigkeiten nur eine unzureichende Stichprobe dargestellt hätte.

Es wurden aber in allen Unternehmen Begehungen und Gespräche mit dem Ziel durchgeführt, relevante Einflussfaktoren auf die Arbeitsleistung zu identifizieren. Diese fanden bei der Analyse des Datenbestandes Beachtung. Die Verifikation der Daten wurde ergänzt durch eine umfangreiche Literaturrecherche und Literaturlauswertung.

Nachfolgend werden die Ergebnisse und Erkenntnisse vorgestellt, die im Rahmen der Auswertung der aufgeführten Datenquellen entstanden.

4.3 KOMMISSIONIERTÄTIGKEIT

4.3.1 Tätigkeitsbeschreibung

In den nachfolgend betrachteten Warenlagern werden die Waren auf Paletten in Kartonschachteln bereitgestellt. Die Kommissionierer fahren mit einem handgeführten Wagen (Pickwagen) von Entnahmeort zu Entnahmeort (Prinzip Person zur Ware). Das jeweils neue Ziel wird vom Kommissionierleitsystem an die Datenterminals auf den Pickwagen weitergegeben. Alle Entnahmen werden abschließend mit einer Waage kontrolliert, die sich jeweils unter dem Kommissionierbehälter befindet. Die Versorgung mit Leerbehältern und der Abtransport der fertigen Behälter erfolgt über eine Fördertechnik in den Kommissioniergängen. Das Kommissionierleitsystem protokolliert automatisch alle eigenen Meldungen sowie die Rückmeldungen der Kommissionierer.

Die Greifzeiten wurden durch Auswertung dieser automatisch erstellten Tätigkeitsprotokolle ermittelt. In den Tätigkeitsprotokollen wurden unter anderem die Bestätigungen der Mitarbeiter zur Ankunft am Entnahmeplatz und zum Ende des Entnahmeprozesses mit einem automatischen Zeitstempel erfasst. Die Zeitstempeldifferenzen lieferten dann die interessierende Vorgangsdauer.

Das Artikelspektrum in den drei Warenlagern ist nahezu identisch. Im Aufbau der Kommissionierbereiche und in der Verteilung der Stückzahl pro Greifvorgang unterscheidet sich insbesondere das Warenlager Wh1 von den Warenlagern Wh2 und Wh3.

Durch eine Vorortbesichtigung konnte in Erfahrung gebracht werden, dass in den protokollierten Greifzeiten Tätigkeiten enthalten sind, wie

- Schachtel vom Palettenstapel nehmen,
- Schachtel öffnen,
- Leerschachtel entsorgen.

Somit haben die verschiedenen Verpackungseinheiten der Kommissioniergüter einen unterschiedlichen Einfluss auf die ermittelte Tätigkeitsdauer. Die Zuordnung dieser Einflüsse zu den Greifzeiten ist nachträglich nicht möglich. Es wird aufgrund der erheblichen Datenmenge davon ausgegangen, dass sich der Einfluss relativ gleichmäßig über die Auswertungen verteilt.

Die einem Kommissioniervorgang zugehörigen Informationen wurden zu einem Datensatz innerhalb einer Datenbanktabelle zusammengefasst. Zusätzlich lagen Angaben über Artikeligenschaften hinsichtlich Gewicht und Abmaße vor. Die Daten wurden von offensichtlichen Fehlern und außergewöhnlichen Ausreißern bereinigt.

Tabelle 3: Randkriterien der Datenanalyse

Kriterium	Mindestwert	Maximalwert
Greifzeit	1 s	900 s
Tagesstunde	6 Uhr	20 Uhr
Wochentag	Montag	Freitag
Artikelgewicht	1 Gramm	22 Kilogramm
Entnahmestückzahl	1 Stück	22 Stück

Bei der Datenanalyse musste die Überlagerung der drei Quellen für die Variabilität in der Vorgangsdauer Arbeitsinhalt, Mensch und Umgebungsbedingungen Beachtung finden.

Nur unter der Annahme einer gleichartigen Arbeitsaufgabe und Umgebungsbedingungen sind Schlussfolgerungen auf Unterschiede zwischen den Mitarbeitern zulässig. Da die Datenanalyse

deutliche Unterschiede zwischen den Standorten zeigte, die mit den vorliegenden Daten und Vor-Ort-Befragung nicht erklärbar waren, wurden alle Auswertungen separat nach Standort durchgeführt.

In allen Analyseabfragen wurden nur Vorgänge innerhalb eines bestimmten Kriterienrahmens betrachtet. Der Kriterienrahmen sollte eine gleiche Abfragebedingung für alle drei Standorte vorgeben sowie ungewöhnliche Extremwerte herausfiltern.

Erste Vorauswertungen zeigten, dass eine Betrachtung des Artikelgewichts allein nur einen geringen Einfluss auf die Greifzeit erkennen lässt. Deshalb wurde die Gewichtsgrenze relativ großzügig gewählt.

Tabelle 4: Datenumfang der Datenanalyse

Standort	Datensätze	Artikel	Entnahmepositionen
Wh1	303.427	1.891	1.104.234
Wh2	346.148	1.946	2.024.486
Wh3	228.768	1.888	1.228.266

Einen entscheidenden und statistisch signifikant nachweisbaren Einfluss auf die Greifzeit besitzt die Stückzahl im Entnahmeprozess.

Um die Abhängigkeit der Aussagen von den konkreten Arbeitsinhalten und Arbeitsumgebungen zu verringern und die Übertragbarkeit auf andere Kommissioniersysteme zu erleichtern, wurde eine Normierung der absoluten Greifzeiten im Sinne einer Zeitgradberechnung durchgeführt.

Der Zeitgrad errechnet sich nach REFA als Quotient aus einer Vorgabezeit und der Arbeitszeit des Mitarbeiters.

Da eine externe Vorgabezeit nach REFA oder MTM in dieser Auswertung nicht zur Verfügung steht, wurde deshalb auf den arithmetischen Mittelwert bzw. den Median (das 50%-Quantil) der ermittelten Zeitwerte als Ersatzgröße für die Vorgabezeit zurückgegriffen.

Bei der Berechnung des arithmetischen Mittelwerts besitzen einzelne, hohe Zeitwerte einen erheblichen Einfluss auf das Berechnungsergebnis und können zu einer starken Verzerrung in der Gesamtwahrnehmung führen. Der Median repräsentiert den Wert in einer Datenverteilung, bei dem 50% der Werte kleiner und 50% der Werte größer sind. Er ist damit weniger empfindlich gegenüber einzelnen Extremwerten. Die Mediane der Greifzeiten sind aufgrund der rechtsschiefen Charakteristik der Zeitverteilung kleiner als die arithmetischen Mittelwerte.

Der Zeitgrad in diesen Auswertungen errechnet sich somit als Quotient von Basiswert (Mittelwert bzw. Median) aller Vorgänge und der konkreten Greifzeit im betrachteten Vorgang. Beide Basiswerte wurden unter den in Tabelle 3 genannten Randkriterien und für jede Entnahmestückzahl separat ermittelt.

Die Verwendung des relativen Zeitgrads ermöglicht einen normierten Vergleich der Leistungsstreuung zwischen unterschiedlichen Kommissioniersystemen und unterschiedlichen Mitarbeitergruppen unabhängig von Standortbedingungen und Artikelspektrum.

Die Häufigkeitsverteilungen der Kommissionierdaten wurden mit Verteilungsdichtefunktionen verschiedener stetiger Zufallsverteilungen verglichen. Aufgrund der Kurvenverlaufsform wurde in den meisten Analysen auf die Gammaverteilung, die logarithmische Normalverteilung und die Weibullverteilung als Vergleich zurückgegriffen, die in den Abbildungen mit f_{Gam} , f_{Lon} bzw. f_{Weib} bezeichnet sind.

Die Parameter der Verteilungsfunktionen wurden über eine Fehlerminimierung mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate (MKQ) bestimmt. Der verbleibende Fehlerwert dient gleichzei-

tig als Vergleichswert für die Güte der Annäherung der parametrischen Verteilungsfunktion an die gegebenen Häufigkeitsverteilungen der empirischen Daten.

In der Betrachtung der Mittelwerte und der Variationskoeffizienten ist zu beachten, dass in den gemessenen Greifzeiten nicht nur die Zeiten der Gutentnahme enthalten sind, sondern auch zusätzliche Zeitanteile, um die Schachtel vom Palettenstapel zu nehmen, sie zu öffnen, die Leerschachtel zu entsorgen sowie für mögliche Störungen im Kommissionierablauf.

Einerseits verringert sich dadurch die Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit Verfahren zur Zeitbestimmung, andererseits spiegeln sie geeigneter die Verhältnisse in praxisnaher Kommissionierung wider, da dort eben solche Zeitanteile gleichfalls auftreten.

4.3.2 Greifzeitauswertung nach Tätigkeitsaufwand

Für die Abhängigkeit der mittleren Entnahmedauer von der Stückzahl im Kommissioniervorgang konnte erwartungsgemäß ein eindeutiger und fast linearer Zusammenhang ermittelt werden. Die mittleren Greifzeiten wurden in den weiteren Untersuchungen zur Leistungsverteilung als Basiswerte für eine Normierung nach Stückzahl und Standort verwendet.

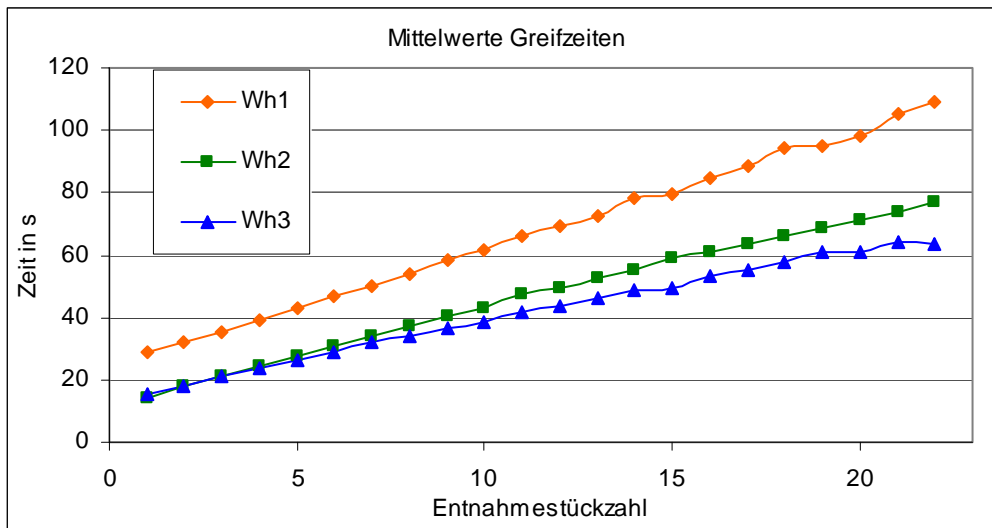


Abbildung 2: Mittelwerte Greifzeiten nach Stückzahl – Kommissioniertätigkeit

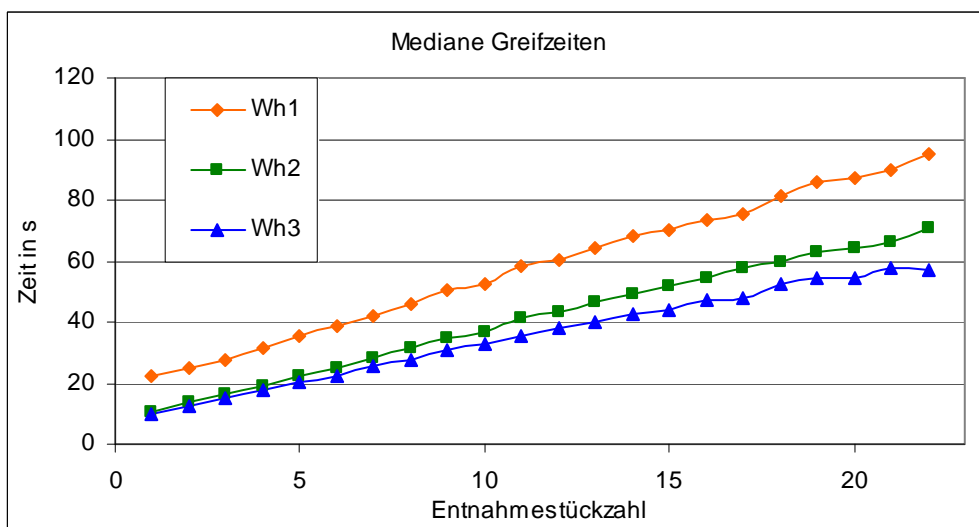


Abbildung 3: Mediane Greifzeiten nach Stückzahl – Kommissioniertätigkeit

Die Mediane der Greifzeiten sind aufgrund der rechtsschiefen Charakteristik der Zeitverteilung kleiner als die arithmetischen Mittelwerte.

Die Variationskoeffizienten der Greifzeiten, also die relative Schwankung bezogen auf den Mittelwert, verringern sich mit zunehmender Stückzahl von ca. 1,0 auf ca. 0,5 an allen drei Standorten gleichermaßen.

Die Annäherung des Zusammenhangs von Greifzeit und Stückzahl durch eine lineare Funktion ($y = mx + n$) liefern nachstehende Funktionsparameter.

Tabelle 5: Regression Greifzeiten (Mittelwerte)

Standort	Anstieg (m)	Absolutglied (n)	Bestimmtheit (R^2)
Wh1	3,8	24,13	0,999
Wh2	3,0	12,91	0,997
Wh3	2,4	14,36	0,994

Tabelle 6: Regression Greifzeiten (Medianwerte)

Standort	Anstieg (m)	Absolutglied (n)	Bestimmtheit (R^2)
Wh1	3,5	18,12	0,998
Wh2	2,9	8,27	0,997
Wh3	2,3	8,76	0,995

Die absoluten Greifzeiten für Aufträge mit unterschiedlichen Artikelpositionen können aufgrund des Arbeitsumfangs nicht unmittelbar miteinander verglichen werden. Der Vergleich setzt eine vorherige Normierung auf einen Basiswert voraus. In der Abbildung 4 wurden die absoluten Zeitwerte in Relation zum Basiswert (Median) gesetzt und die relativen Häufigkeiten der Vielfachen vom Basiswert bestimmt. Die Kurven zeigen, dass schnellere Greifzeiten deutlich häufiger auftreten als langsamere.

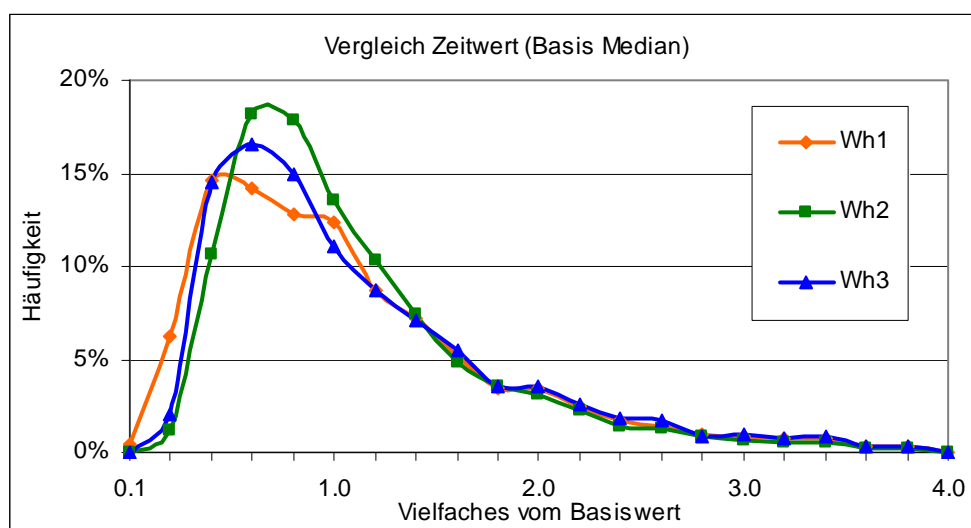


Abbildung 4: Greifzeiten – Kommissioniertätigkeit

Eine andere, übliche Form der Leistungsbetrachtung ist die Berechnung und der Vergleich von Zeitgraden. Der Zeitgrad errechnet sich als Quotient aus Basiszeit und aktueller Greifzeit.

4.3.3 Zeitgradauswertung vorgangsbezogen insgesamt

In dieser Datenanalyse wurde für jede Greifzeit der relative Zeitgrad ermittelt, sowohl auf der Basis des Mittelwerts als auch des Medians (vgl. 4.3.2). Diese Zeitgrade wurden statistisch ausgewertet.

Quantile geben Auskunft über die Lage von Beobachtungswerten innerhalb der Gesamtdatenmenge. So repräsentiert z. B. das 5%-Quantil den Wert in einer Datenverteilung, bei dem 5% der Werte kleiner und 95% der Werte größer sind.

Die in Abbildung 5 dargestellten Quantile der Zeitgrade geben einen groben, aber leicht verständlichen Überblick zur Verteilung der Werte relativ zum Normierungswert. Die deutlich rechtsschiefe (linkssteile) Charakteristik der Verteilung wird an den unterschiedlichen Abständen der 5%-Quantile (unterer Endstrich) und der 95%-Quantile (oberer Endstrich) vom 50%-Quantil (mittlerer Strich) deutlich.

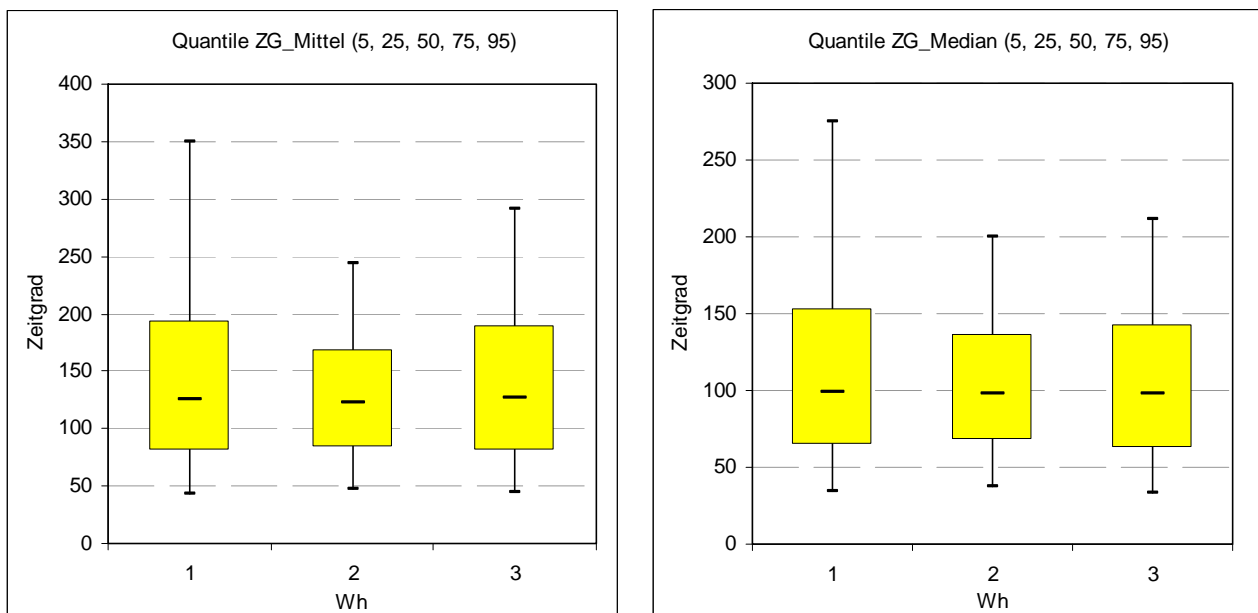


Abbildung 5: Zeitgrad Quantile – Kommissioniertätigkeit

Die Zeitgrade wurden dann in Häufigkeitsklassen mit einer Klassenbreite 25 eingeordnet, und die relativen Häufigkeiten der Klassen wurden bestimmt. Die resultierenden Klassenhäufigkeiten werden in Abbildung 6 und Abbildung 7 in Form einer Verteilung dargestellt.

Die Häufigkeitsverteilungen der Zeitgrade in den drei Warenlagern wurden dann mit der Dichtefunktion theoretischer Verteilungen verglichen. Die Abbildung 8 zeigt exemplarisch den Vergleich für den Zeitgrad (Mittelwert) am Standort Wh1.

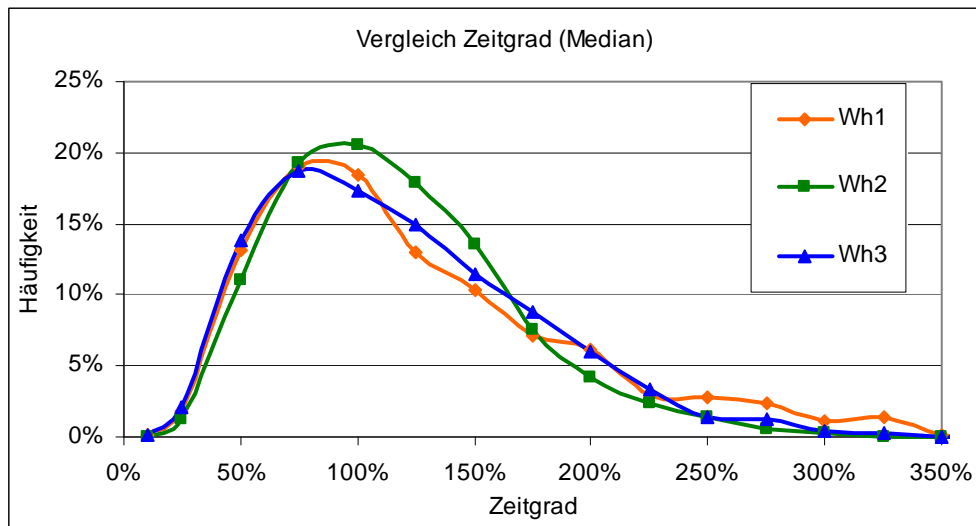


Abbildung 6: Zeitgrad (Median) insgesamt – Kommissioniertätigkeit

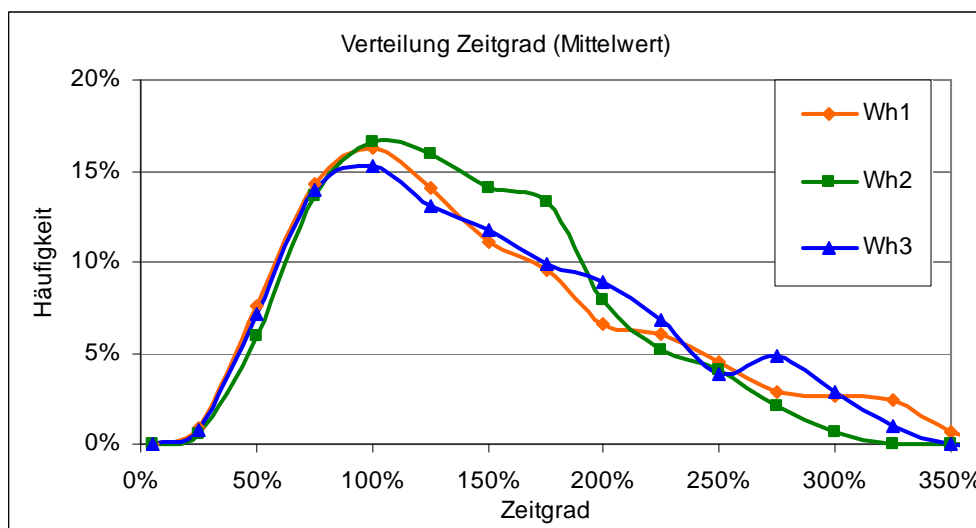


Abbildung 7: Zeitgrad (Mittelwert) insgesamt – Kommissioniertätigkeit

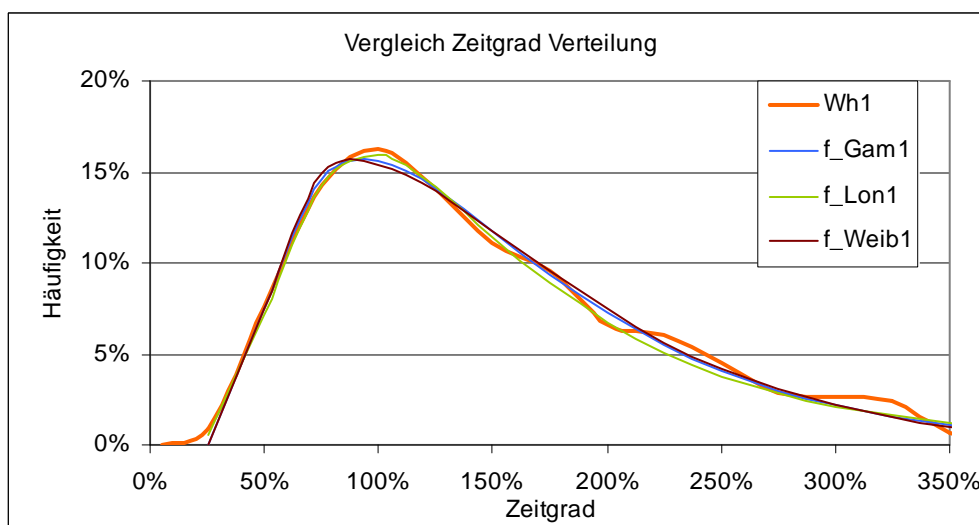


Abbildung 8: Vergleich Zeitgrad Verteilung – Kommissioniertätigkeit

4.3.4 Zeitgradauswertung mitarbeiterbezogen insgesamt

In dieser Datenanalyse wurde für jeden Mitarbeiter der Mittelwert seiner Greifzeit abgefragt, separat in jeder Stückzahlklasse. Aus diesen Werten wurden der relative Zeitgrad je Mitarbeiter bestimmt. Die Zeitgrade wurden dann in Häufigkeitsklassen mit einer Klassenbreite 10 eingeordnet, und die relativen Häufigkeiten der Klassen wurden ermittelt. Im Ergebnis der Analyse entsteht ein Bild über die Verteilung der durchschnittlichen Leistungen der Kommissionierer innerhalb der Mitarbeitergruppe an einem Standort. Die Verteilungen über die drei Standorte ist in Abbildung 9 dargestellt.

Die Mitarbeiter am Standort Wh3 bestehen offensichtlich aus drei Teilgruppen unterschiedlicher Leistung, sichtbar an den drei Maxima für Wh3 in Abbildung 9.

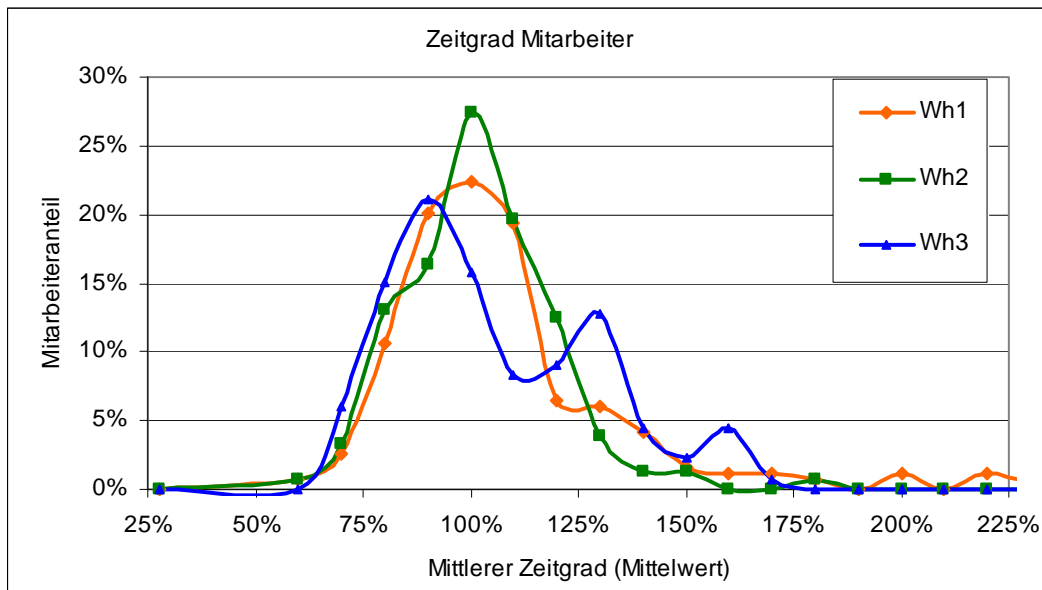


Abbildung 9: Zeitgradverteilung Mitarbeiter- Kommissioniertätigkeit

Diese Häufigkeitsverteilungen wurden wiederum mit theoretischen Verteilungen verglichen. Abbildung 10 zeigt beispielhaft das Ergebnis für den Standort Wh2.

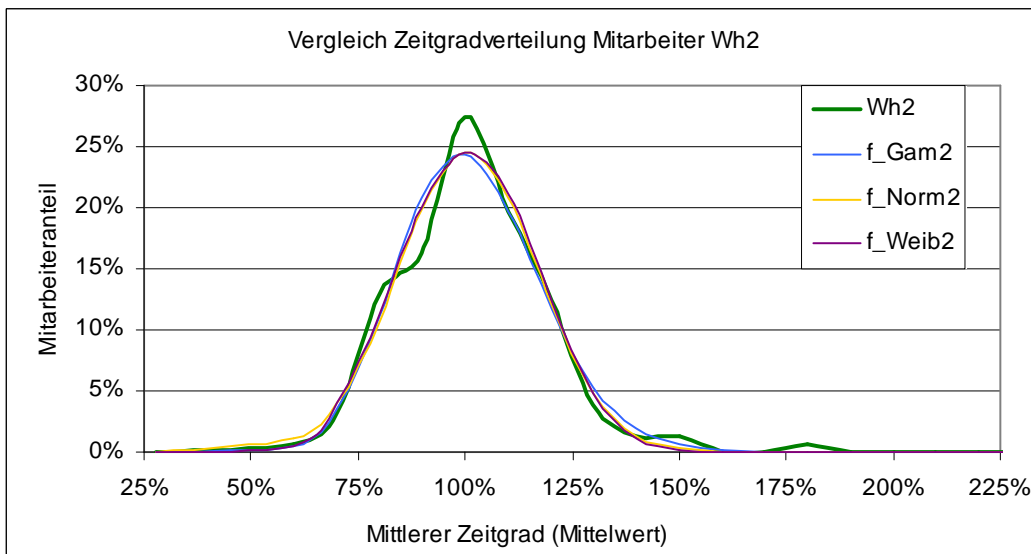


Abbildung 10: Vergleich Zeitgrad Mitarbeiter Wh2- Kommissioniertätigkeit

4.3.5 Zeitgradauswertung mitarbeiterbezogen einzeln

In dieser Datenanalyse wurde für einzelne, zufällig gewählte Mitarbeiter für jede ermittelte Greifzeit der relative Zeitgrad bestimmt, analog zum Vorgehen in Abschnitt 4.3.3. Diese Zeitgrade wurden in Quantilen und in Häufigkeitsklassen statistisch ausgewertet.

Die Zeitgrade wurden dann in Häufigkeitsklassen mit einer Klassenbreite 25 eingeteilt und die relativen Häufigkeiten der Klassen wurden ermittelt.

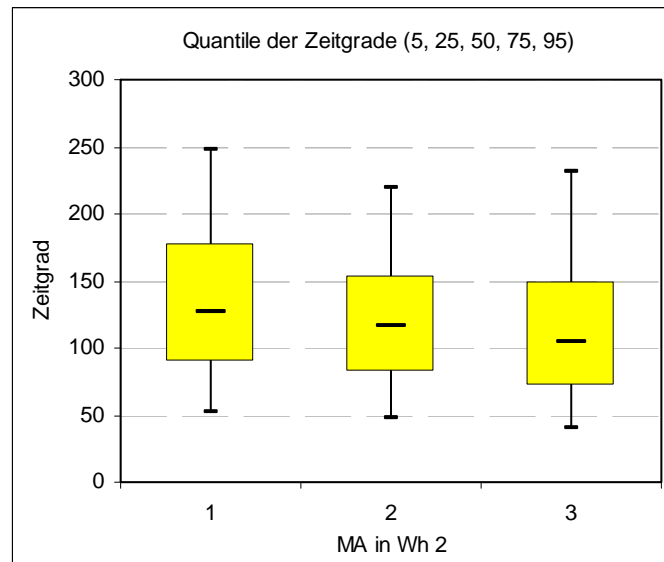


Abbildung 11: Zeitgrad Quantile Einzel-Mitarbeiter – Kommissioniertätigkeit

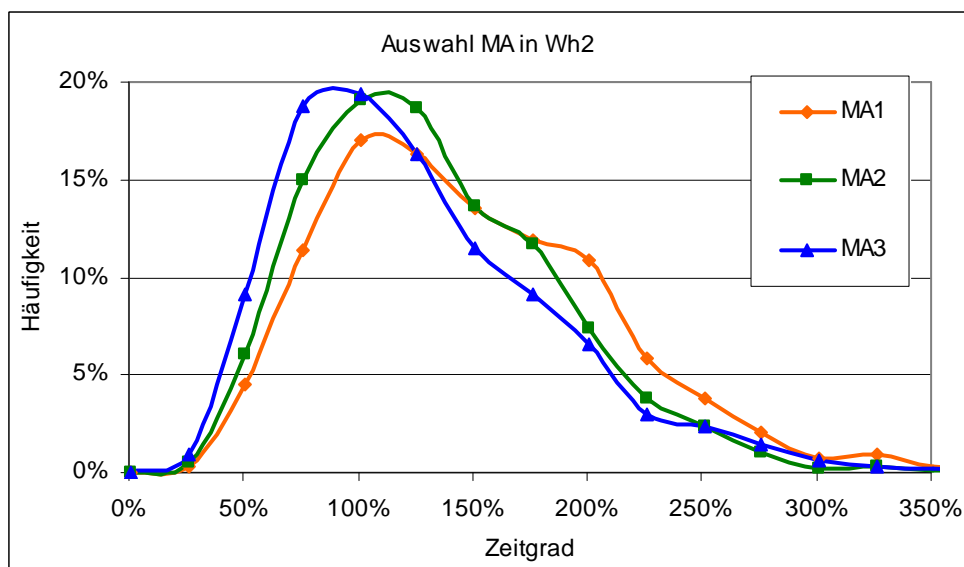


Abbildung 12: Zeitgradverteilung Einzel-Mitarbeiter – Kommissioniertätigkeit

Die Abbildung 12 zeigt repräsentativ die Auswertung der Häufigkeitsanalyse für den Standort Wh2. Der Zeitgrad von Mitarbeitern an den beiden anderen Standorten weist einen qualitativ gleichen Kurvenverlauf auf. Die Verteilung der individuellen Leistungen der Kommissionierer zeigt einen stark asymmetrischen Verlauf, welcher mit Hilfe einer logarithmischen Normalverteilung (oder ähnlicher Verteilung) nachgebildet werden kann.

4.3.6 Zeitliche Dynamik - Korrelationsanalyse

Ausgangspunkt dieser Auswertung war die Annahme, dass die Abfolge verschiedener Handhabungsvorgänge einen Einfluss auf die Dauer der einzelnen Vorgänge hat.

Es wurde z. B. angenommen, dass

- auf einen Vorgang mit relativ geringer Greifzeit wieder ein Vorgang mit relativ geringer Greifzeit folgt, weil bei geringer Belastung sich im Nachfolgevorgang eine höhere Leistung zeigt.
- auf einen Vorgang mit relativ hoher Greifzeit wieder einen Vorgang mit relativ hoher Greifzeit folgt, weil bei hoher Belastung sich im Nachfolgevorgang eine geringere Leistung zeigt.

Bei der Analyse zur zeitlichen Dynamik wurde das Datenmaterial entsprechend auf Zusammenhänge zwischen den Greifzeiten aufeinander folgender Kommissioniervorgänge untersucht. Abbildung 14 und Abbildung 13 zeigen einzelne, repräsentative Resultate der umfangreichen Korrelationsanalyse.

In den Untersuchungen wurden normierte Greifzeiten pro Entnahmeeinheit (in den Abbildungen als Pickzeit bezeichnet) miteinander verglichen. Die normierte Greifzeit wurde aus der individuellen Greifzeit pro Entnahmeeinheit und der mittleren Greifzeiten pro Entnahmeeinheit ermittelt.

In Abbildung 13 erfolgt eine Gegenüberstellung der relativen Pickzeit zwei aufeinander folgender Entnahmen für einen repräsentativen Mitarbeiter. Die Verteilung der Datenpunkte entspricht nicht dem Zusammenhang, der für eine positive Korrelation der Werte typisch wäre - eine Häufung der Datenpunkte entlang der Diagonalen.

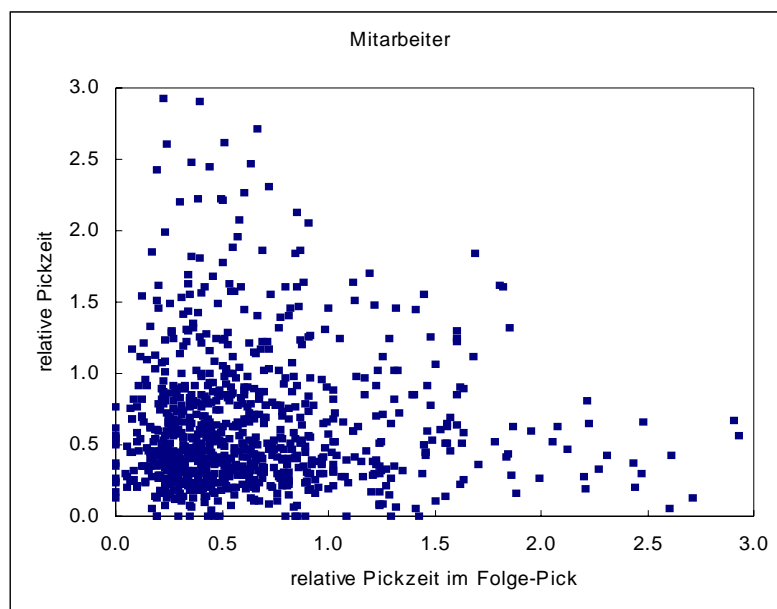


Abbildung 13: Scatterplot relative Pickzeit eines MA – Kommissioniertätigkeit

Die Abbildung 14 fasst die Ergebnisse der Autokorrelationsanalyse für die Abstände (Lag) 1 bis 4 zwischen zwei Entnahmevorgängen für mehrere Kommissionierer am Standort Wh1 zusammen. Die Ergebnisse jeweils eines Kommissionierers werden durch jeweils eine Linie in der Abbildung repräsentiert.

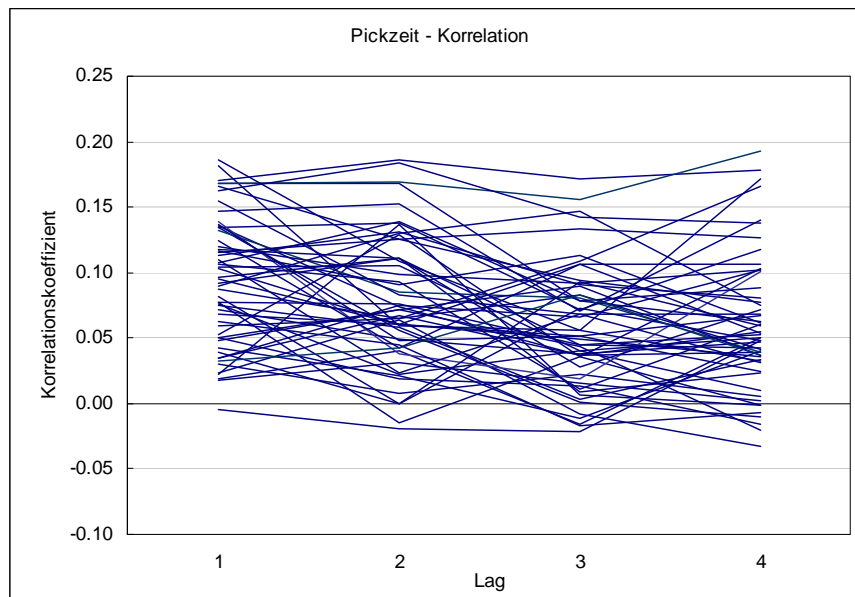


Abbildung 14: Korrelationsanalyse der Pickzeit – Kommissioniertätigkeit

Die geringen Korrelationskoeffizienten im Ergebnis liefern trotz einer Datenmenge, die im Vergleich zu anderen Studien sehr umfangreich ist, keine Anhaltspunkte für einen statistischen Zusammenhang in der Greifzeit aufeinanderfolgender Vorgänge.

4.4 FLIESSBANDSTUDIE

Im Rahmen einer Studie zur psychischen Sättigung im Arbeitskontext durch die Professur für Arbeits- und Organisationspsychologie an der TU Dresden wurden einfache Kommissioniertätigkeiten unter verschiedenen Tätigkeitsbedingungen durchgeführt. Die Arbeitsleistung und die Fehlerrate wurden für gleiche gegen wechselnde Tätigkeit sowie getaktete gegen selbstbestimmte Arbeitsweise über eine Dauer von 8 Arbeitsabschnitten verglichen. Im Ergebnis wurden Datensätze von ca. 100 Personen zur Verfügung gestellt. Die Zusammensetzung der Gruppe war hinsichtlich Alter und Ausbildungsgrad der Versuchspersonen relativ homogen.

4.4.1 Einfluss der Selbstbestimmung

Die folgende Tabelle 7 zeigt den Einfluss von Tätigkeitsmerkmalen (getaktete / ungetaktete Tätigkeit sowie gleiche / wechselnde Tätigkeit) auf Fehlerrate und Leistung (VarK = Variationskoeffizient, relative Streuung der individuellen Leistung) der Personen.

Tabelle 7: Einfluss von Tätigkeitsmerkmalen auf Fehlerrate und Leistungsstreuung

		Getaktete Tätigkeit	Ungetaktete Tätigkeit
Gleiche Tätigkeit	Fehlerrate	kein Einfluss	kein Einfluss
	Leistungsstreuung	VarK = 0,08	VarK = 0,21
Wechselnde Tätigkeit	Fehlerrate	hoch	gering
	Leistungsstreuung	VarK = 0,19	VarK = 0,12

Die Fehlerrate ist offenbar davon abhängig, in welchem Umfang die Tätigkeit selbst eingeteilt werden kann.

Wechselnde Aufgaben bei beibehaltender Taktung erhöhen die Streuung der Leistungserbringung. Die Unvorhersehbarkeit der Dauer (durch wechselnde Arbeitsinhalte) und der dadurch wirkende Zeitdruck (Stress) kann als Ursache dafür gesehen werden.

Gleichbleibende Tätigkeiten ohne Taktung erhöhen ebenfalls die Streuung der Leistungserbringung. Eine mögliche Reaktion auf (drohende) Monotonie kann als Ursache gesehen werden.

Des Weiteren ist die Streuung der Leistung am geringsten, wenn die Vorhersehbarkeit der Tätigkeit (gleiche Tätigkeit im vorgegebenen Takt) am höchsten ist; die Leistung „automatisch“ erbracht werden kann.

Die Streuung ist ebenfalls geringer, wenn die Tätigkeit wechselt und zeitlich selbst bestimmt werden kann, die notwendige Aufmerksamkeit / Konzentration auf die Tätigkeit kann als Ursache in Betracht gezogen werden.

4.4.2 Einfluss der Übung

Der Einfluss der Übung kann ebenfalls mit den Daten gezeigt werden. Wie aus Abbildung 15 ersichtlich, wird mit steigender Übung die durchschnittliche (Mengen)-Leistung höher. Ebenfalls werden die Flanken der Verteilungskurve steiler, so dass geschlussfolgert werden kann, dass die Streuung der Leistung mit steigender Übung geringer wird.

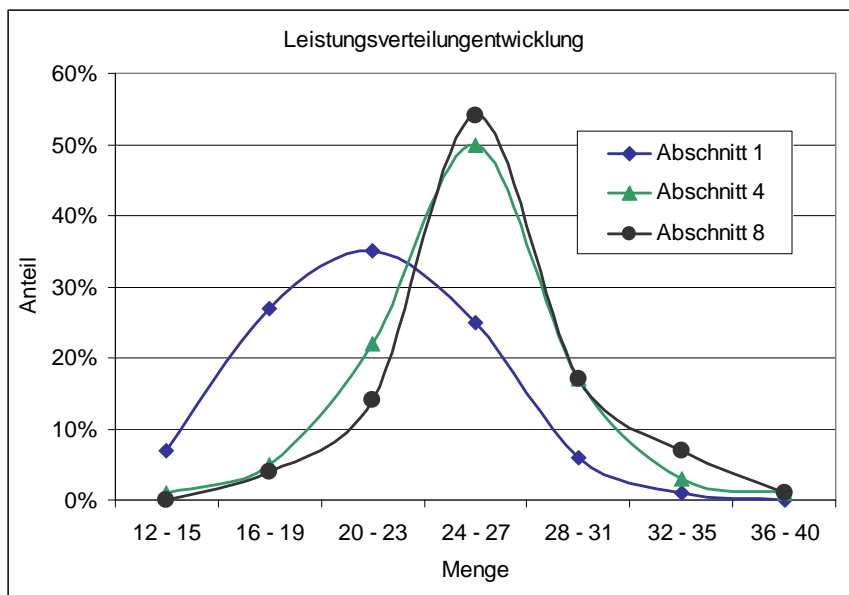


Abbildung 15: Leistungsverteilungsentwicklung - Fließbandstudie

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass gleichförmige, getaktete Tätigkeiten oder sich verändernde Tätigkeiten, bei freier Zeiteinteilung in Kombination mit einem hohen Übungsgrad die geringsten Leistungsschwankungen hervorbringen.

4.5 MOTORENMONTAGE

Dieser Datensatz beinhaltet Ist-Zeiten zweier Abteilungen einer Motorenmontage. Die Vorgabezeiten für die verschiedenen Arbeitsinhalte der Montage sind dabei auf Basis einer REFA-Zeitaufnahme ermittelt worden. Insgesamt arbeiten in diesen Abteilungen 40 Mitarbeiter, deren Tätigkeiten vergleichbar sind. Neben den Mengenleistungsdaten wurden durch das Unternehmen Angaben zum Alter, der Betriebszugehörigkeit, der Ausbildung und der Dauer der Tätigkeit am jetzigen Arbeitsplatz zur Verfügung gestellt. Die vorliegenden Daten umfassen einen Zeitraum von fünf Monaten.

Entsprechend der für diesen Datensatz vorhandenen Informationen zu den Mitarbeitern erfolgte die Auswertung der Daten. Folgende Informationen waren vorhanden.

Ausbildungsstand

Alter

Dauer der Betriebszugehörigkeit

Da Alter und Dauer der Betriebszugehörigkeit nicht unabhängig von einander sind und der Stichprobenumfang (siehe Tabelle 8) zu gering ist, um diese wechselseitigen Effekte zu eliminieren, sind die nachfolgend getroffenen Aussagen vor diesem Hintergrund zu betrachten.

Tabelle 8: Stichprobenumfang der Alters- und Betriebszugehörigkeitsklassen

	Unterdurchschnittliches Alter	Überdurchschnittliches Alter
unterdurchschnittliche Betriebszugehörigkeit	n = 16	n = 7
überdurchschnittliche Betriebszugehörigkeit	n = 2	n = 15

4.5.1 Einfluss der Ausbildung

Während, wie aus Abbildung 16 ersichtlich, die durchschnittliche Leistung nicht vom Ausbildungsstand abhängt, wird der Einfluss der Ausbildung in Bezug auf die Streuung deutlich. Abbildung 17 zeigt exemplarisch diesen Zusammenhang. Ausgehend von dieser Auswertung kann die Annahme getroffen werden, dass eine entsprechende Ausbildung die Streuung der Leistungserbringung (stark) verringert. Eine Quantifizierung der Aussage ist aber auf Grund fehlender Vergleichsdaten nicht möglich.

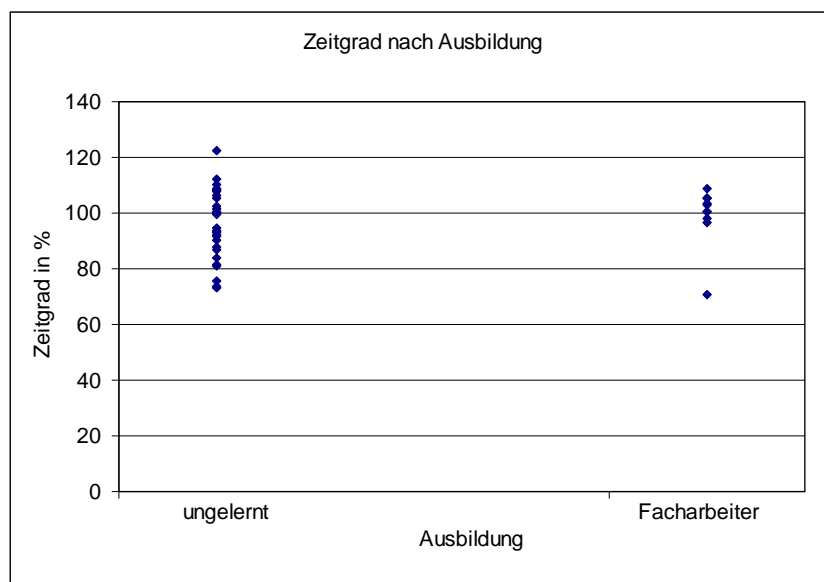


Abbildung 16: Zeitgrad nach Ausbildung – Motorenmontage

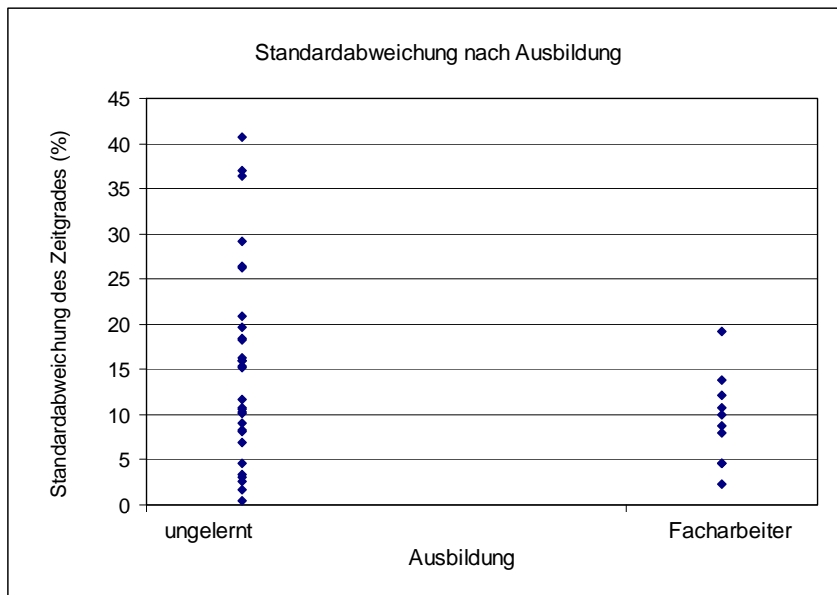


Abbildung 17: Standardabweichung der Leistung nach Ausbildung – Motorenmontage

4.5.2 Einfluss des Alters

Der Einfluss des Alters stellt sich anhand der vorliegenden Daten wie folgt dar. Der durchschnittliche Zeitgrad ist altersunabhängig (siehe Abbildung 18).

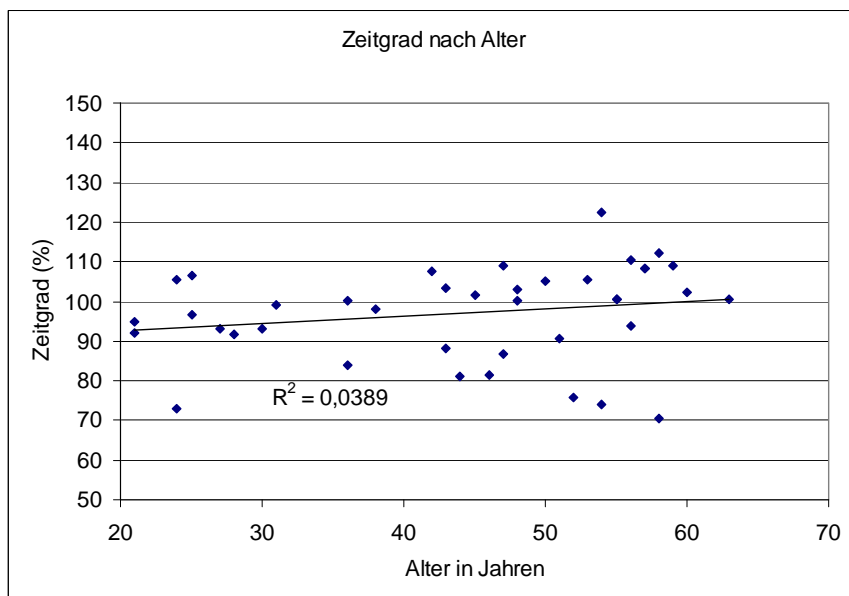


Abbildung 18: Zeitgrad nach Alter - Motorenmontage

Der arithmetische Mittelwert über alle Mitarbeiter hinsichtlich der mitarbeiterspezifischen Streuungen in der Leistungserbringung nimmt mit dem Alter leicht ab (siehe Abbildung 19). Die individuellen Unterschiede in der Leistungsstreuung hingegen nehmen mit dem Alter zu.

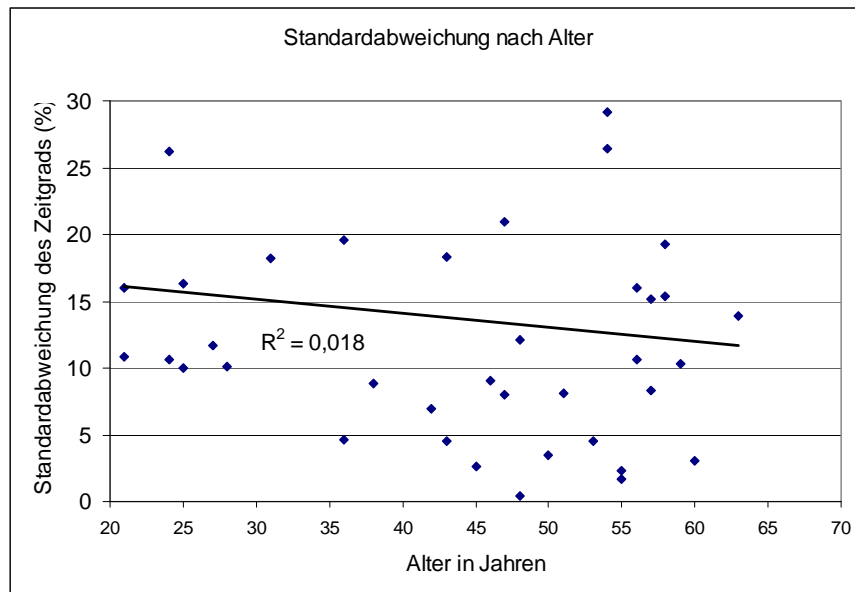


Abbildung 19: Standardabweichung nach Alter – Motorenmontage

4.5.3 Einfluss der Betriebszugehörigkeit

Mit steigender Dauer der Betriebszugehörigkeit ist eine leichte Steigerung der durchschnittlichen Leistung erkennbar. (siehe Abbildung 20)

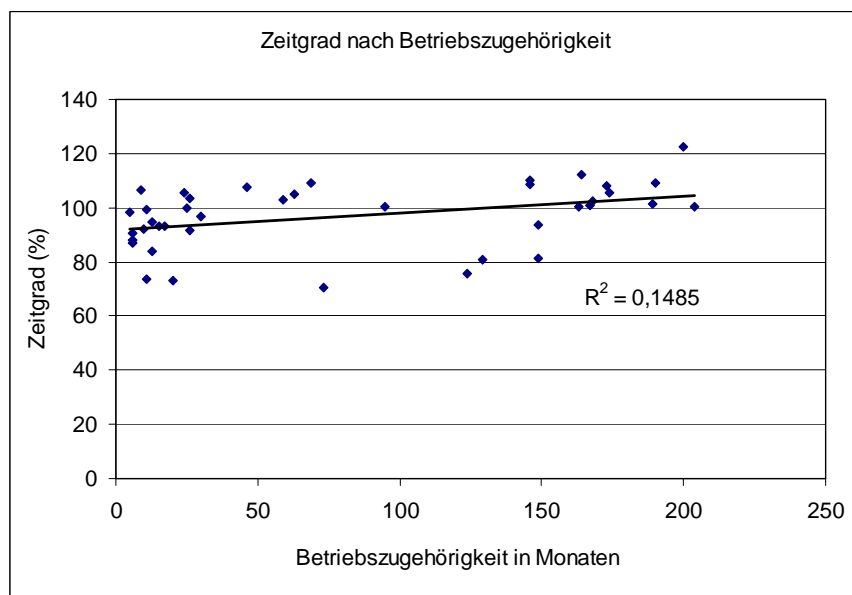


Abbildung 20: Zeitgrad nach Betriebszugehörigkeit - Motorenmontage

Des Weiteren nimmt mit steigender Betriebszugehörigkeit die durchschnittliche Streuung der Leistung, wie in Abbildung 21 dargestellt, ab.

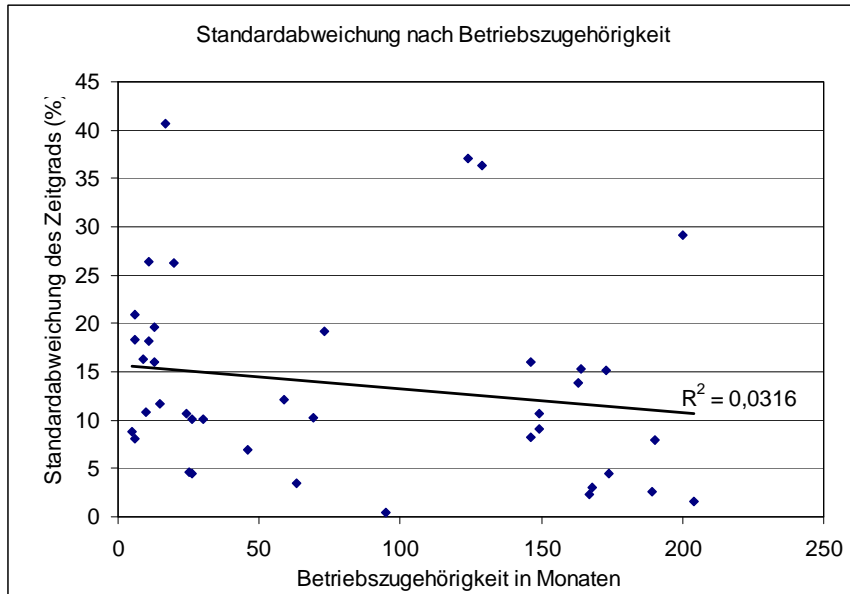


Abbildung 21: Standardabweichung nach Betriebszugehörigkeit – Motorenmontage

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass in der Stichprobe die durchschnittliche erbrachte Leistung von keinem der möglichen Einflussfaktoren wesentlich bzw. stark abhängt.

In Bezug auf die Streuung der Leistungserbringung sind hingegen stärkere Einflüsse erkennbar. Die geringste Streuung tritt bei gelernten Mitarbeitern mit hoher Dauer der Betriebszugehörigkeit auf.

Steigendes Alter hat zum einem eine durchschnittlich geringere Streuung zur Folge, wobei aber aus den Daten ersichtlich ist, dass die Spannbreite der Streuung mit dem Alter größer wird. Als Erklärung dafür können die Erkenntnisse aus der Literatur (z. B. [FRI, 06]) dienen, dass mit steigendem Alter die interpersonellen Schwankungen größer werden. Die Kombination aus Alter und Dauer der Betriebszugehörigkeit liefert, wie in Tabelle 9 aufgezeigt, keine eindeutigen Zusammenhänge.

Tabelle 9: Mittlerer Zeitgrad und Streuung in Alters- und Betriebszugehörigkeitsklassen

	Unterdurchschnittliches Alter	Überdurchschnittliches Alter
unterdurchschnittliche Betriebszugehörigkeit	mittlerer Zeitgrad = 95% mittlere Streuung = 15%	mittlerer Zeitgrad = 91% mittlere Streuung = 14%
überdurchschnittliche Betriebszugehörigkeit	Datengrundlage zu gering	mittlerer Zeitgrad = 101% mittlere Streuung = 12%

4.6 MONTAGE VON ELEKTROGERÄTEN

Diese Daten beinhalten die taggenauen Prämienlohndaten von 85 Mitarbeitern, die in unverketteter Arbeitsweise Elektrogeräte montieren. Die Vorgabezeiten sind dabei auf Basis MTM-UAS entstanden. Die Daten repräsentieren einen Zeitraum von insgesamt 6 Monaten.

4.6.1 Einfluss des Entlohnungssystems

Weil die vorliegenden Daten nur eine monatsgenaue Auflösung bieten, lassen sich hier nur wenige Aussagen treffen. Der Einfluss des Entlohnungssystems ist eine davon.

Wie in Abbildung 22 erkennbar, ist die Leistungsstreuung der Mitarbeiter sehr gering. Als mögliche Ursache wird das Entgeltsystem angesehen. Im konkreten Fall ist das ein Prämienlohnsystem, bei dem das maximal erreichbare Entgelt auf 125% der Vorgabeleistung begrenzt ist.

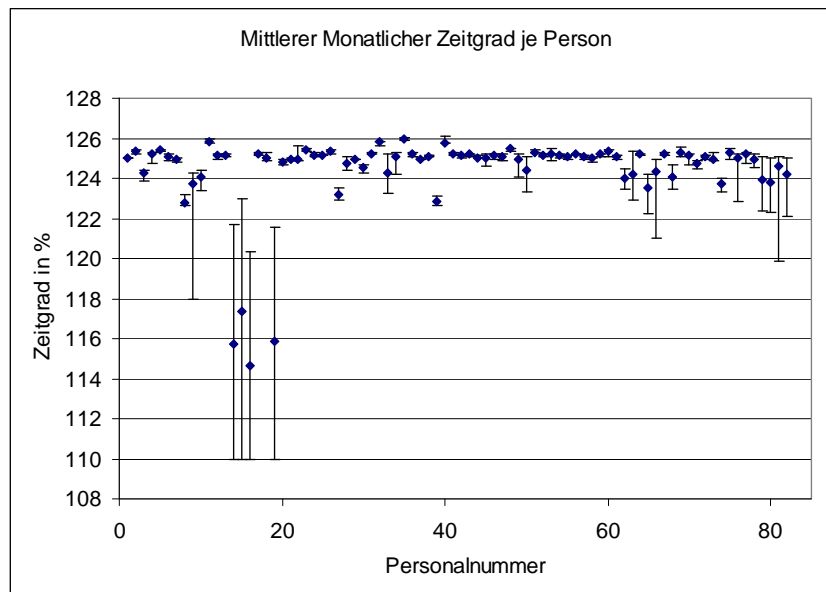


Abbildung 22: Mittlerer Zeitgrad je Person - Montage von Elektrogeräten

5 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die untersuchten Tätigkeiten sind auf Grund ihrer ähnlichen Anforderungen an den arbeitenden Menschen prinzipiell vergleichbar.

Die Daten und Informationen, die über diese Tätigkeiten in Erfahrung gebracht werden konnten, sind hingegen in Struktur und Güte sehr unterschiedlich. Ebenso variieren die Datensätze hinsichtlich der Informationen zu den Rahmenbedingungen (somit potentiellen Einflussfaktoren) der Tätigkeiten. Eine Vergleichbarkeit der Daten bzw. der gewonnenen Erkenntnisse ist somit nur eingeschränkt gegeben.

Dies beachtend, werden die oben gestellten Forschungsfragen wie folgt beantwortet:

Frage 1 Welche Faktoren beeinflussen die Dauer von manuellen Tätigkeiten (Handhabungsvorgänge) und wie ist deren Wirkung?

Durch die Auswertung von betrieblichen Leistungsdaten und eine unterstützende Literaturanalyse konnten Einflussfaktoren identifiziert und in ihrer Wirkung abgeschätzt werden. Von diesen Faktoren kann (auch in Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Literaturanalyse) gesagt werden, dass sie einen Einfluss auf die absolute Höhe und auf die Streuung der Leistung haben.

Diese als relevant eingeschätzten Einflussfaktoren sind:

- Übungsgrad, bzw. Erfahrung
Mit steigendem Übungsgrad bzw. steigender Erfahrung erhöht sich die absolute Leistung, gleichzeitig verringert sich die Streuung der Leistungserbringung.
- Ausbildungsstand
Eine tätigkeitsbezogene Ausbildung verringert die Streuung der Leistungserbringung.

und

- Entlohnungssystem
Durch ein entsprechend gestaltetes Entlohnungssystem kann die Streuung der Leistungserbringung stark verringert werden.

Für weitere, auf Grund von Aussagen aus der Literatur vermutete Einflussfaktoren konnten in den Daten keine Zusammenhänge gefunden werden. Ein Beispiel dafür ist der Einfluss der Tageszeit auf die menschliche Leistung, der in vielen gleichartigen Aussagen in der Fachliteratur beschrieben wird. Dahingehende Untersuchungen der empirischen Daten konnten keinen solchen Zusammenhang aufzeigen. Da die Einflüsse auf die konkreten Tätigkeiten nicht umfassend bekannt sind, soll aber dieser Zusammenhang nicht abgelehnt werden.

Frage 2 Welche statistischen Verteilungen sind geeignet, um die Dauer von manuellen Tätigkeiten zu beschreiben?

Die Häufigkeitsverteilungen der betrieblichen Leistungsdaten (relative Zeitgrade der Artikelgreifzeiten) wurden mit Verteilungsdichtefunktionen verschiedener stetiger Zufallsverteilungen verglichen. Die Parameter der Verteilungsfunktionen für eine bestmögliche Datenanpassung wurden über eine Fehlerminimierung mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate (MKQ) bestimmt. Im Ergebnis zeigte sich, dass insbesondere die logarithmische Normalverteilung und die Weibull-Verteilung zur Modellierung der Leistungsverteilung geeignet sind.

Durch weiterführende Untersuchungen auf Basis vergleichbarer Daten könnten die ermittelten Zusammenhänge weiter geprüft und quantifiziert werden.

Mit Hilfe dieser Erkenntnisse ist es möglich, die Dauer manueller Tätigkeiten und die Arbeitsleistung genauer zu modellieren und somit den Arbeitskräftebedarf genauer zu dimensionieren. Das ist die Basis für eine wirtschaftliche und gleichzeitig menschengerechte Gestaltung von Arbeitssystemen in der Logistik.

LITERATURVERZEICHNIS UND AUSGEWERTETE QUELLEN

Bücher

- [BÖH,58] BÖHRS, Hermann: *Arbeitsleistung und Arbeitsentlohnung*. Wiesbaden: Gabler, 1958
- [BÖH,59] BÖHRS, Hermann: *Normalleistung und Erholungszuschlag in der Vorgabezeit*. München: Hanser, 1959
- [BÖR,05] BÖRSCH-SUPAN, A. ; DÜZGÜN, I. ; WEISS, M.: *Altern und Produktivität*. Mannheimer Forschungsinstitut Ökonomie und demographischer Wandel, 2005
- [BÖR,07] BÖRSCH-SUPAN, A. ; DÜZGÜN, I. ; WEISS, M.: *Der Zusammenhang zwischen Alter und Arbeitsproduktivität: Eine empirische Untersuchung auf Betriebsebene*. 2007
- [CUG,94] CUGIER: *Aging and working capacity*. Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft, 1994
- [FIT,08] FITZNER, Klaus ; RIETSCHEL, Hermann: *Raumklimatechnik*. Berlin [u.a.]: 16., völlig überarb. und erw. Aufl. Aufl. Springer, 2008
- [GRA,60] GRAF, Otto : *Arbeitsphysiologie*, Wiesbaden: Gabler, 1960
- [HAC,98] HACKSTEIN, R.: *Arbeitswissenschaft im Umriss*. Essen: Girardet, 1977
- [HAR, 85] HARDENACKE, H.; PEETZ, W.; WICHARDT, G.: *Arbeitswissenschaft*, Hanser, 1985
- [KRÄ,98] KRÄMER, J: *Die Einführung von Gruppenarbeit in der Automobilindustrie*. Tübingen: Medien Verlag Köhler, 1998
- [KUL,89] KULKA, H.: *Arbeitswissenschaften für Ingenieure*. Leipzig: Fachbuchverlag, 1989
- [LAN,91] LANG, E.; ARNOLD, K: *Altern und Leistung - medizinische, psychologische und soziale Aspekte*. Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag, 1991
- [LAU,90] LAURIG, W.: *Grundzüge der Ergonomie - Erkenntnisse und Prinzipien*. Berlin: Beuth Verlag GmbH, 1990
- [LEM,95] LEMKE, S.: *Auswirkungen der Einführung teilautonomer Gruppenarbeit auf ausgewählte sozialpsychologische und betriebswirtschaftliche Kenngrößen*. Frankfurt am Main [u. a.]: Lang, 1995
- [LUC,98] LUCZAK, H.: *Arbeitswissenschaft*. 2. Aufl. Springer Verlag, 1998

- [NIE,64] NIEBEL, B.: *Motion and Time Studies*. Homewood: Irvin, 1964
- [PFE,77] PFEIFFER, W. ; DÖRRIE, U. ; STOLL, E.: *Menschliche Arbeit in der industriellen Produktion*. Göttingen: Vandenhoeck und Ruprecht, 1977
- [RIT] RITZ, A.: *Anreizsysteme zur Steigerung der Mitarbeitermotivation, Führen von Mitarbeitenden*. WEKA Verlag AG,
- [SCH, 65] SCHMIDTKE, Heinz: *Die Ermüdung, Symptome, Theorien, Messversuche*. Bern [u. a.]: Huber, 1965
- [SCH, 93] SCHMIDTKE, Heinz: *Ergonomie*; Carl Hanser Verlag München, Wien, 1993
- [SUS,02] SUST, C. A. ; LAZARUS, H.: *Bildschirmarbeit und Geräusche. Auswirkungen von Geräuschen mittlerer Intensität auf simulierte Büro- und Bildschirmtätigkeiten unterschiedlicher Komplexität*. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW, Verl. für Neue Wiss., 2002
- [WEL,81] WELFORD, A. T.: *Fertigkeiten und Leistung*. Bern: Huber, 1981

Zeitschriftenartikel

- [AVO,90] AVOLIO, B.J.; WALDMAN, D.A.: Age and work performance in nonmanagerial jobs: the effects of experience and occupational type. *In: Academy of Management Journal* 33 (1990) S. 407-422
- [BEB,05] BEBLO, Miriam; WOLF, Elke; ZWICK, Thomas: Erfolgsabhängige Vergütung: Welche Faktoren führen zu einer Motivationssteigerung von Top-Managern? *In: zfo* (2005)
- [BOO,04] BOOCKMANN, B. ; ZWICK, T.: Betriebliche Determinanten der Beschäftigung älterer Arbeitnehmer. *In: ZAF* (2004) Nr. 1, S. 53-63
- [DOE,92] DOERKEN, W.: Qualifizierung und Produktivität. *In: Sichere Arbeit* (1992) Nr. 1, S. 15-20
- [FIT,04] FITZNER, Klaus: Einfluss des Raumklimas auf die Produktivität. *In: HLH* (2004) S. 59
- [FRI,06] FRIELING, E.; BUCH, M.; WIESELHUBER J.: Alter(n)sgerechte Arbeitssystemgestaltung in der Automobilindustrie - die demografische Herausforderung bewältigen. *In: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* 60 (2006) S. 213-219
- [HAI,82] HAIDER, E.: Ergonomie der kombinierten Belastungen. *In: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* 36 (1982) Nr. 2, S. 115-116

- [HEU,06] HEUER, H. ; HEGELE, M.: Bewegungen mit indirekter Sicht im Altersverlauf. *In: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* 60 (2006) Nr. 4, S. 221-229
- [ISI,83] ISING, H. ; GÜNTHER, T.: Wirkungen mehrstündiger Lärmbelastungen auf Wohlbefinden, Körperfunktionen und Leistung des Menschen. *In: Zeitschrift für Lärm-bekämpfung* 30 (1983) Nr. 1, S. 11-15
- [KLO,76] KLOTZBÜCHER, E.: Zum Einfluss des Lärms auf die Leistung bei geistiger Arbeit und ausgewählte physiologische Funktionen. *In: International archives of occupational and environmental health* 37 (1976) Nr. 2, S. 139-155
- [KRI,06] KRINGS, F.; KLUGE, A.: Leistung hängt nicht vom Alter ab. *In: Wirtschaft Regional* (2006)
- [PAS,82] PASMORE et al.: Soziotechnical systems. A north American reflection on empirical studies of the 70s. *In: Human reflection* 35 (1982) S. 1179-1204
- [PFE,85] PFENDLER, C.: Der Einfluss der Monotonie in einer Überwachungsaufgabe auf die Entdeckungs- und Aufmerksamkeitsleistung. *In: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* 39 (1985) Nr. 4, S. 231-236
- [RIC,06] RICHTER, F: Alterstrends der Leistungsfähigkeit, arbeitsbezogener Motivation und des Gesundheitserlebens in Abhängigkeit von Merkmalen der Arbeitsgestaltung. *In: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* 60 (2006) Nr. 3, S. 187-195
- [RIS,07] RISAK, M. E.: Der Einfluss des altersbedingten Absinkens der Arbeitsfähigkeit auf arbeitsvertragliche Pflichten. *In: Zeitschrift für Arbeitsrecht und Sozialrecht* (2007)
- [ROS,06] ROSSNAGEL, C. ; HERTEL, G.: Altersbedingte Unterschiede in Inhalten und im Zustandekommen von Arbeitsmotivation und Arbeitszufriedenheit. *In: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* 60 (2006) Nr. 3, S. 181-186
- [ROT,06] ROTH, C. ; WEGGE, J. ; SCHMIDT, K.-H. ; NEUBACH, B.: Altersheterogenität als Determinante von Leistung in Arbeitsgruppen der öffentlichen Verwaltung. *In: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* 60 (2006) Nr. 4, S. 266-273
- [SCH,07] SCHMIDT, K. H. ; NEUBACH, B. ; HEUER, H.: Arbeitseinstellungen, Wohlbefinden und Leistung. Eine Zusammenhangsanalyse auf Organisationsebene. *In: Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie* 51 (2007) Nr. 1, S. 16-25
- [SCH,06] SCHNEIDER, N. ; STÖCKER, S. ; GRANDT, M. ; SCHLICK, C: Altersdifferenzierte Adaptation der Mensch- Rechner-Schnittstelle. *In: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* 60 (2006) Nr. 3, S. 171-180
- [SKI,04] SKIRBEKK, V.: Age and Individual Productivity: A Literature Survey. *In: Vienna Yearbook of Population Research* (2004) S. 133-154

- [STE,06] STEGMAIER, R. ; NOEFER, K. ; MOLTER, B ; SONNTAG, K.: Die Bedeutung von Arbeitsgestaltung für die innovative und adaptive Leistung älterer Berufstätiger. *In: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* 60 (2006) Nr. 4, S. 246-255
- [ROS,75] VON ROSENSTIEL, L.: Arbeitsleistung und Arbeitszufriedenheit. Zur Frage der Korrelation und der Kausalität. *In: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* 29 (1975) Nr. 2, S. 72-78
- [ZSC,03] ZSCHIESCHE, W.: Psychische Belastungen am Arbeitsplatz. *In: Brücke / Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik* (2003) Nr. 2, S. 10-16
- [ZUL,06] ZULLEY, J.: Der Schlaf- Notwendigkeit oder Zeitverschwendung. *In: Zugriff am* (2006) Nr. 27, S. 10-31

Konferenzbeiträge

- [BÖR,06] BÖRSCH-SUPAN, A. ; DÜZGÜN, I. ; WEISS, M.: *Alter und Arbeitsproduktivität - Stand der Forschung und Ausblick*. Bad Arolsen: 2006
- [DAU,06] DAUM, Irene: *Determinanten erfolgreichen kognitiven Alterns aus neuropsychologischer Sicht*. Bad Arolsen: 2006
- [DWO,06] DWORSCHAK, Bernd ; BUCK, Hartmut: *Die Veränderung der Arbeitswelt*. 2006
- [FAL,06] FALKENSTEIN, Michael: *Kognitive Kompetenzen Älterer erkennen, nutzen und fördern*. Bad Arolsen: 2006
- [FRI,97] FRIELING, E. ; BUCH, M.: *Gruppenarbeit und Fehlzeiten*. Braunschweig: 1997
- [HAC,06] HACKER, W.: *Leistungsförderliches und gesundheitsgerechtes Gestalten wissensintensiver geistig-schöpferischer Arbeit für die Arbeitslebensspanne*. Bad Arolsen: 2006
- [HOL,90] HOLLING, H. ; GREIF, S.: *Belastung, Stress und Gesundheit*. 1990
- [KLI,06] KLIEGEL, M.: *Die kognitive Leistungsfähigkeit im mittleren und höheren Erwachsenenalter aus Sicht der Gerontopsychologie*. Bad Arolsen: 2006
- [MOR,06] MORSCHHÄUSER, M.: *Berufsbegleitende Weiterbildung und Personalentwicklungsplanung: Good- Practice - Praxisbeispiele und Strategien*. Bad Arolsen: 2006
- [UEB,06] UEBERSCHÄR, I. ; HEIPERTZ, W.: *Zur Leistungsfähigkeit älterer Arbeitnehmer aus arbeits- und sozialmedizinischer Sicht. Arbeits-, Sozial-, Umweltmedizin*. Bad Arolsen: 2006

- [WAG,06] WAGNER, D.: *Führung im Wandel, Mitarbeitermotivation in Zeiten der Arbeitsplatzangst*. Wiesbaden: 2006
- [WEG,06] WEGNER, R.: *Impulsreferat - Ältere in einer veränderten Arbeitswelt*. Bad Arolsen: 2006
- [WILL,06] WILKE, C.: *Altern und Leistungsfähigkeit – ausgewählte Aspekte physiologischer Anpassungen*. Bad Arolsen: 2006.

Sonstige Quellen

- [BAuA,02].: *Arbeitswissenschaftliche und arbeitsmedizinische Erkenntnisse zu überlangen Arbeitszeiten*. In: BAuA (Hrsg.): 2002
- [ALB,99] ALBERTI, Michael: *Untersuchungen zu den Wirkmechanismen bei Implementierung teilautonomer Gruppenarbeit in der Produktion unter Berücksichtigung von arbeits-, sozialpsychologischen und ökonomischen Kenngrößen*. Chemnitz, TU Chemnitz, Maschinenbau, 1999
- [END,84] ENDERLEIN: *Beitrag zur Arbeitsgestaltung in Montageprozesse der Großserienfertigung, zwischen THZ*. 1984
- [HAB,05] HABICH, T. ; JÖNS, I.: *Altersbedingte Entwicklung beruflicher Kompetenzprofile*. Universität Mannheim, 2005
- [HAU] HAUER, K.: *Kraft und funktionelle Leistung im Alter*. Heicumed Ausbildungscurriculum der medizinischen Fakultät der Universität Heidelberg
- [KAL,73] KALVERAM, K. Th. ; MERZ, F. ; RIEGEL: *Einfluss von Pausen auf die Leistung bei Steuertätigkeiten*; Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung. Wilhelmshaven : 1973
- [KLE,98] KLEINBECK, U.: *Durch Förderung der Arbeitsmotivation lassen sich die Anwesenheitszeiten von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern erhöhen. Anwesenheit am Arbeitsplatz - nur Pflicht oder auch Lust?* Dortmund : 1998
- [SCH,06] SCHNEIDER, L.: *Sind ältere Beschäftigte weniger produktiv? Eine empirische Analyse anhand des LIAB*. Institut für Wirtschaftsforschung Halle – IWH, 2006
- [SIN,06] SINN-BEHRENDT, A.: *Vorlesung Ergonomie I*. 2006
- [ZUL,02] ZULLEY, J.: *Tarifpolitische Tagung: Immer flexibler – immer mehr!*. MARITIM Hotel, Fulda: 2002