

Inna Levchuk

**Optimierung der Gebrauchstauglichkeit
von CNC-Maschinensteuerständen als
Beitrag zur menschengerechten
Arbeitsgestaltung**

**Schriftenreihe des Instituts für Arbeitsmedizin,
Sicherheitstechnik und Ergonomie e.V.
(ASER)**

Forschungsbericht - Nr. 36

Forschungsbericht – Nr. 36

Inna Levchuk

**Optimierung der Gebrauchstauglichkeit
von CNC-Maschinensteuerständen als
Beitrag zur menschengerechten
Arbeitsgestaltung**

Die Dissertation kann wie folgt zitiert werden:

urn:nbn:de:hbz:468-20170612-162318-4

[<http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn=urn%3Anbn%3Ade%3Ahbz%3A468-20170612-162318-4>]

Der hier vorliegende Forschungsbericht – Nr. 36 mit dem Titel „Optimierung der Gebrauchstauglichkeit von CNC-Maschinensteuerständen als Beitrag zur menschengerechten Arbeitsgestaltung“ ist die von der Fakultät für Maschinenbau und Sicherheitstechnik der Bergischen Universität Wuppertal zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Sicherheitswissenschaften (Dr.-Ing.) genehmigte Dissertation von Mag. Dipl.-Ing. Inna Levchuk. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Autorin.

Autorin: Mag. Dipl.-Ing. Inna Levchuk
Terworm 54
NL 2036 CR Haarlem

Herausgeber: Institut für Arbeitsmedizin, Sicherheitstechnik und Ergonomie e.V.
(ASER)
Corneliusstraße 31
42329 Wuppertal
Telefon: 0202 – 73 10 00
Telefax: 0202 – 73 11 84
E-Mail: info@institut-aser.de
Internet: www.institut-aser.de

© by Institut ASER e.V., Wuppertal, 2017
Printed in Germany 2017

ISBN 978-3-936841-33-6

Alle Rechte einschließlich der fotomechanischen Wiedergabe
und des auszugsweisen Nachdrucks vorbehalten.

In die Schriftenreihe Forschungsberichte des Instituts ASER e.V. werden seit dem Jahr 2001 u.a. auch solche Forschungsergebnisse eingestellt, die in Bezug auf die auftraggebende(n) Organisation(en) oder auf die beteiligten Kooperationspartner aus Gründen des Datenschutzes vorerst nicht in einer zusammenhängenden Darstellungsform frei veröffentlicht werden können und eine Anonymisierung dieser alleinstehenden Forschungsergebnisse nicht möglich ist oder noch nicht vorgenommen werden konnte. Die Aufarbeitung der Forschungsergebnisse in die Form der formalisierten Forschungsberichte des Instituts ASER e.V. dient dazu, diese Forschungsergebnisse in spätere Veröffentlichungen dann mit geringerem Aufwand einfließen zu lassen.

Optimierung der Gebrauchstauglichkeit von CNC-Maschinensteuerständen als Beitrag zur menschengerechten Arbeitsgestaltung



**BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL**

von der Fakultät 7 für Maschinenbau und Sicherheitstechnik
der Bergischen Universität Wuppertal
zur Erlangung des akademischen Grades
eines Doktors der Sicherheitswissenschaften (Dr.-Ing.)
genehmigten Dissertation von

Mag. Dipl.-Ing. Inna Levchuk

Tag der mündlichen Prüfung:
Wuppertal, 22. Dezember 2016

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	5
Danksagung	8
Zusammenfassung.....	9
Abstract	12
1 Einleitung und Zielstellung	15
1.1 Hintergrund dieser Arbeit	15
1.1.1 Betriebswirtschaftliche Aspekte der Arbeitsgestaltung.....	15
1.1.2 Human-zentrierte Aspekte der Arbeitsgestaltung	16
1.2 Zielstellung dieser Arbeit	17
1.3 Überblick dieser Arbeit	17
2 Historische Entwicklung von CNC-Maschinen und -steuerständen.....	18
2.1 Technische Aspekte der Entwicklung der (C)NC-Technik	18
2.2 Soziale Aspekte bei der Implementierung der CNC-Technik	19
2.3 Tätigkeiten des Maschinenführers moderner CNC-Werkzeugmaschinen	21
2.4 Belastungen und Beanspruchungen im Produktionsbereich.....	24
2.4.1 Definition der Belastungen und Beanspruchungen.....	24
2.4.2 Belastungen und Beanspruchungen während der Arbeit mit CNC-Werkzeugmaschinen	24
2.5 Ergonomische Gestaltung der Arbeit.....	26
2.5.1 Ergonomische Gestaltung von CNC-Maschinen und -steuerungen.....	27
2.5.2 Technische Aspekte der menschengerechten Arbeitsgestaltung.....	28
2.5.3 Personen-bezogene Aspekte der menschengerechten Arbeitsgestaltung.....	30
2.6 Stand der Technik von CNC-Maschinensteuerständen	32
2.6.1 Der Markt mit CNC-Steuerungen.....	34
2.6.2 Studienübersicht zur Entwicklung der Benutzeroberflächen von CNC-Maschinen	36
2.7 Empfehlungen zur Maschinengestaltung.....	39
2.7.1 Existierende generelle Empfehlungen zur Maschinengestaltung.....	39
2.7.2 Generelle Empfehlungen zur Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle.....	40
2.7.2.1 Empfehlungen zur haptischen Informationsgestaltung	41
2.7.2.2 Empfehlungen zur visuellen Informationsgestaltung.....	42
2.7.2.3 Empfehlungen zur Gestaltung der Arbeitsumgebung	43
2.8 Zusammenfassung bisheriger Erkenntnisse und Empfehlungen	44
2.9 Ableitung der Ziele und Fragestellungen für diese Arbeit	45
3 Ziele, Methoden, Durchführung und Auswertung der Erhebungen im Rahmen der vorliegenden Arbeit	47
3.1 Ziele, Methoden, Durchführung und Auswertung der Pilotstudie	48
3.1.1 Ziel der Pilotstudie.....	48
3.1.2 Eingesetzte Methoden.....	48
3.1.3 Durchführung der ausgewählten Methodik	49
3.1.4 Auswertungsmethoden.....	49

3.2	Ziele, Methoden, Durchführung und Auswertung des Loops 1 „Eye-Tracking“ – Feldstudie	50
3.2.1	Ziel des Loops 1	50
3.2.2	Angewendete Methodik	50
3.2.3	Durchführung der ausgewählten Methodik	52
3.2.4	Auswertungsmethoden	53
3.3	Ziele, Methoden, Durchführung und Auswertung des Loops 2 „CNC-Arbeitsanalyse“ – Querschnittstudie	57
3.3.1	Ziel des Loops 2	57
3.3.2	Angewendete Methodik	57
3.3.3	Durchführung der ausgewählten Methodik	58
3.3.4	Auswertemethoden	58
3.4	Ziele, Methoden, Durchführung und Auswertung des Loops 3 „Handmaße“ – Feldstudie	59
3.4.1	Ziel des Loops 3	59
3.4.2	Angewendete Methodik	59
3.4.3	Durchführung der ausgewählten Methodik	60
3.4.4	Auswertungsmethoden	61
4	Ergebnisse	63
4.1	Ergebnisse der Pilotstudie	63
4.1.1	Beschreibung des untersuchten Kollektivs und Arbeitsmitteln	63
4.1.2	Gestaltung des CNC-Maschinenbedienfeldes	65
4.1.2.1	Gestaltung von Informationen auf dem Bildschirm	68
4.1.2.2	Gestaltung von Informationen auf dem Bedienfeld	71
4.1.3	Gestaltung von Arbeitsplatz und Steuerstand	75
4.1.4	Fehlbedienungen während der Arbeit an einer CNC-Maschine	77
4.1.5	Gestaltung bezüglich körperlicher Belastungen	79
4.1.6	Anregungen für Veränderungen aus der Sicht der Befragten	82
4.1.7	Ableitung von Arbeitshypothesen	83
4.2	Ergebnisse aus Loop 1 „Eye-Tracking“	85
4.2.1	Beschreibung des untersuchten Kollektivs und Arbeitsmitteln	85
4.2.2	Erfassung objektiver Daten zur CNC-Steuerstand-Gestaltung	86
4.2.3	Erfassung objektiver Daten zur Gestaltung des CNC-Steuerstandes	87
4.2.4	Anordnung des Bedienfeldes am Gehäuse der CNC-Werkzeugmaschine	90
4.2.5	Gestaltung der Bedienelemente auf dem Bedienfeld	92
4.2.6	Subjektive Beurteilung der Gestaltung des Bedienfeldes	96
4.2.6.1	Visuelle Informationsgestaltung	97
4.2.6.2	Gestaltung von haptischen Bedienelementen	98
4.2.7	Gestaltung der Bedienerführung	100
4.2.8	Durchführung der Arbeitsaufgaben an der jeweiligen Steuerung	101
4.2.9	Körperhaltungen bei der CNC-Maschinen-Bedienung	103
4.2.10	Veränderungsbedarf aus der Sicht der Probanden	106
4.3	Ergebnisse zu Loop 2 „CNC-Arbeitsanalyse“	107
4.3.1.1	Gestaltung des CNC-Maschinenarbeitsplatzes	107
4.3.1.2	Gestaltung des Arbeitsprozesses	108
4.3.1.3	Gestaltung des Arbeitsplatzes bezüglich körperlicher Belastungen	110

4.4	Ergebnisse aus Loop 3 „Handmaße“	115
4.4.1	Beschreibung des untersuchten Kollektivs	115
4.4.2	Auswertung weiterer anthropometrischer Daten	119
4.4.3	Übereinstimmung anthropometrischer Maße mit den auf dem Bedienfeld vorhandenen Bedienelementen	125
5	Diskussion der Ergebnisse	127
5.1	Diskussion der Ergebnisse aus der Pilotstudie	127
5.1.1	Gestaltung von Informationen auf dem Bedienfeld	127
5.1.1.1	Gestaltung von visuellen Informationen	128
5.1.1.2	Gestaltung von haptischen Informationen	129
5.1.2	Gestaltung von Arbeitsplatz und Körperhaltungen während der Arbeit an einer CNC-Maschine	130
5.1.3	Ableitung der Arbeitshypothesen	131
5.2	Diskussion der Ergebnisse aus Loop 1 „Eye-Tracking“	131
5.2.1	Diskussion der Arbeitshypothese 1: Wahrnehmung von Informationen auf den Bedienfeldern unterschiedlicher Herstellern	132
5.2.2	Diskussion der Arbeitshypothese 2: Körperhaltungen während der Arbeit an einer CNC-Maschine	133
5.3	Diskussion der Ergebnisse aus Loop 2 „CNC-Arbeitsanalyse“	135
5.3.1	Diskussion der Arbeitshypothese 2: Körperhaltungen während der Arbeit an einer CNC-Maschine	135
5.3.2	Diskussion der Arbeitshypothese 3: Gestaltung bezüglich der körperlichen Belastungen	136
5.4	Diskussion der Ergebnisse aus Loop 3 „Handmaße“	137
5.4.1	Diskussion der Arbeitshypothese 4: Übereinstimmung der Abmessungen von Bedienelementen mit aktuellen anthropometrischen Maßen	138
6	Ausblick und Empfehlungen	139
6.1	Ausblick	139
6.1.1	Gestaltungsmaßnahmen zur Informationsdarstellung	139
6.1.2	Gestaltungsmaßnahmen: Körperhaltungen und körperliche Belastungen	139
6.1.3	Gestaltungsmaßnahmen: Anpassung an aktuelle anthropometrische Daten	140
6.2	Empfehlungen zur Auswahl und Gestaltung von CNC-Maschinen	140
6.2.1	Gestaltung des Bedienfeldes: Verbesserung der Informationsübertragung	140
6.2.2	Allgemeine Gestaltung der CNC-Maschine	141
6.2.3	Gestaltung des CNC-Maschinenarbeitsplatzes bzgl. Körperhaltungen	142
7	Ergänzende Begriffserklärungen	143
8	Abbildungsverzeichnis	144
9	Tabellenverzeichnis	148
10	Literaturverzeichnis	150
10.1	Schrifttum	150
10.2	Technische Normen	155
10.3	Technische Richtlinien	156
10.4	Berufsgenossenschaftliche Informationen	156
10.5	Regelwerke	156
11	Anhänge	157

Danksagung

Ohne Beteiligung zahlreicher Personen am Institut ASER e.V. wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen. Besonders hervorheben möchte ich Herrn Karl-Heinz Lang, der diese Arbeit ermöglichte und mich über das ganze Studium hinweg konstruktiv begleitet hat. Weiter gilt mein Dank den Herren Prof. Dr. André Klußmann und Prof. Dr. Hansjürgen Gebhardt, die sich sprachlich, inhaltlich, strukturell ebenso wie gedanklich sehr hilfreich mit dieser Arbeit befasst haben. Ihr freundlicher und konstruktiver Einsatz hat das Zustandekommen dieser Arbeit entscheidend mit beeinflusst. Ebenso möchte ich mich herzlich bei Herrn Prof. Dr. Ralf Pieper für seine professionelle Unterstützung und Begleitung bedanken.

Für die Unterstützung bei technischen Fragestellungen bedanke ich mich bei den Herren Martin Keuchel und Bernd Neumann, die mich bei der Vorbereitung und Durchführung der verschiedenen Untersuchungen wirkungsvoll unterstützt haben.

Mein besonderer Dank gilt den Ausbildern Herrn Jürgen Helbig und Herrn Peter Günther sowie den Mitarbeitern der Lehreinrichtungen, die durch ihre Teilnahmebereitschaft die in dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen erst ermöglicht haben. Mein besonderer Dank gilt allen Auszubildenden, die bereit waren, ihre Erfahrung, ihre subjektiven Meinungen ebenso wie ihr Wissen beim Technikeinsatz mitzuteilen.

Ebenso gilt mein Dank den Mitarbeitern der untersuchten Betriebe, die die Arbeitsanalyse ermöglicht und dokumentiert haben. Ferner möchte ich mich bei den mehr als tausend freiwilligen Probanden und Probandinnen bedanken, die durch ihre Teilnahme an den Feldstudien ihr Interesse zum Ausdruck gebracht haben.

Herrn Rainer Hundsdoerfer möchte ich mich für das Einbringen seines praktischen Wissens und für die thematische Unterstützung bei dieser Arbeit danken.

Ebenso möchte ich mich bei meiner lieben Freundin Kirsten Chevallier, die mich in ihrer Familie aufgenommen und durch ihre Erfahrung unterstützt hat, recht herzlich bedanken.

Ein ebenso herzlicher Dank geht an meine Eltern, die an mich geglaubt und diese Arbeit trotz Tausende Kilometer Entfernung unterstützt haben sowie an meine Schwester, die mich - ohne es zu wissen - zu weiteren Schritten angetrieben hat.

Meinem Partner möchte ich für seine Geduld und liebevolle Unterstützung danken und meinen zwei kleinen Töchtern dafür, dass sie jede Sekunde meines Lebens mit der grenzenlosen Liebe gefüllt haben.

Schließlich gilt mein Dank der Möglichkeit, Daten, die im Rahmen des regionalen Schlüsselprojekts „Design4all – Das Mehrgenerationengütesiegel“ erhoben wurden, für diese Arbeit zu nutzen. Dieses Schlüsselprojekt wurde durch den „Europäischen Fond für regionale Entwicklung (EFRE)“ und durch das Land Nordrhein-Westfalen im Rahmen des Ziel2-Programmes „Regionale Wettbewerbsfähigkeit und Beschäftigung“ kofinanziert und gefördert.

Sich selbst zu besiegen ist der schwerste Sieg.

Lucius Annaeus Seneca

Zusammenfassung

Die Fortschritte der vergangenen Jahrzehnte durch neue Technologien haben die Arbeitswelt grundsätzlich verändert. Während im administrativen Bereich Computer, Laptops und Tablets die Schreibmaschinen ersetzt haben, wurden im industriellen Fertigungsbereich zunehmend „computergestützte numerische Steuerungen“ (Computerized Numerical Control – CNC) an Werkzeugmaschinen eingesetzt, um diese schneller, flexibler und leistungsfähiger zu machen.

Die sukzessive Einführung der CNC-Technik stellte und stellt Beschäftigte und Unternehmen vor verschiedene Herausforderungen. Zum einen sind heute gerade ältere Beschäftigte, die jahrelang eher überwiegend körperlich belastende Tätigkeiten an konventionellen Maschinen durchgeführt haben, zunehmend mit wissensintensiven und für sie häufig vorher unbekanntem computergesteuerten Systemen konfrontiert. Zum anderen stehen insbesondere Unternehmen in der Zeit des demographischen Wandels vor der Herausforderung, mit einem zunehmenden Altersdurchschnitt in den Fertigungsbereichen im internationalen Markt weiter wettbewerbsfähig sein zu müssen. Die CNC-Technik entwickelt sich immer weiter, so dass mehr noch als bisher ein „lebenslanges Lernen“ auch in Fertigungsbereichen eine wesentliche Voraussetzung für die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen darstellen wird.

Die vorliegende Arbeit betrachtet den Arbeitsplatz des „Maschinenführers“ und hier insbesondere die Anpassung des Arbeitssystems an den Menschen. Im Fokus stehen dabei die Ermittlung von Gestaltungsmöglichkeiten von Informationsmitteln des CNC-Maschinensteuerstands, wie z. B. Stellteile und Anzeigeräte.

In den dieser Arbeit zugrunde liegenden Studien wurde die Gebrauchstauglichkeit des Gesamtsystems "CNC-Maschine" für Phasen der Aus-, Fort- und Weiterbildung mit objektiven Messmethoden und -verfahren untersucht. Zudem wurden auch subjektive Aspekte der Arbeit an den CNC-Werkzeugmaschinen betrachtet. Hierzu wurde untersucht, ob die Bedienung einer CNC-Maschine so gestaltet ist, dass sie von Bedienern jeden Alters, Erfahrungsniveaus oder -hintergrundes gut zu bedienen ist. Außerdem wurde betrachtet, wie sich die körperlichen Belastungen nach Einführung der CNC-Technik darstellen.

In einer Pilotstudie wurden zunächst allgemeine Erkenntnisse und Hinweise auf Schwach- und Problemstellen der Mensch-Maschine-Schnittstellen bei CNC-Maschinen ermittelt. Hierzu wurde mit Hilfe eines standardisierten Fragebogens eine Umfrage unter 122 Personen in mehreren Lehrwerkstätten in der Bergischen Region durchgeführt. Hierauf aufbauend wurden Arbeitshypothesen abgeleitet und diese in drei verschiedenen Studien – hier als Loops bezeichnet – untersucht (Abb. 1.1).

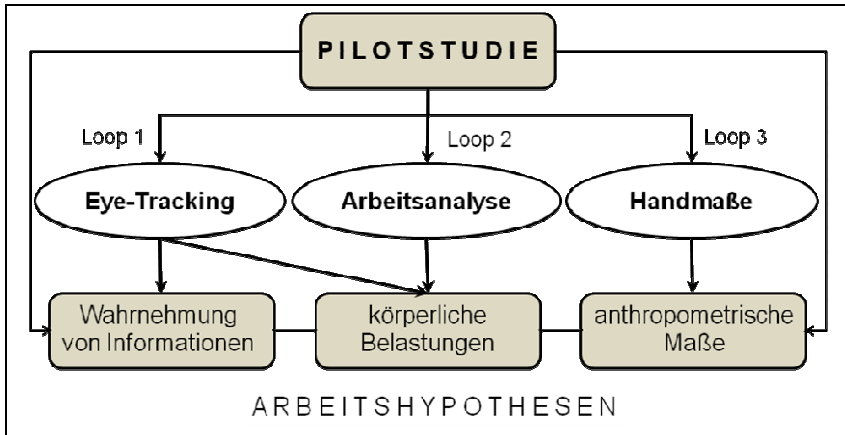


Abb. 1.1: Grafische Darstellung der Struktur und Inhalte der vorliegenden Arbeit

In **Loop 1** wurde zunächst die technische Seite der Bedienung der CNC-Maschinen betrachtet. Es wurden Gebrauchstauglichkeitstests an CNC-Maschinen mit 24 Praxisanwendern in Lehrwerkstätten durchgeführt und die in der Pilotstudie erhobenen subjektiven Daten durch objektive Daten aus Messungen während der Bedienung von CNC-Maschinen ergänzt. Hierzu wurden Untersuchungen mit Hilfe so genannter Eye-Tracking Systeme durchgeführt, die zur Erfassung der Performance einer Person während des Bedienprozesses an einer CNC-Maschine eingesetzt werden können.

In **Loop 2** wurden mit Hilfe des so genannten „Belastungs-Dokumentations-Systems“ (BDS) rund 800 Tätigkeitsanalysen im Feld ausgewertet, um das Arbeitssystem „Maschinenführer“ objektiv beschreiben zu können. Es wurde ermittelt, welchen Anteil die Bedienung von CNC-Maschinen für einen Maschinenbediener durchschnittlich aufweist und welche anderen Tätigkeiten üblicherweise durchgeführt werden. Betrachtet wurden hierbei insbesondere die Aspekte Körperhaltungen, Lastenhandhabungen und Arbeitsschwere.

In **Loop 3** wurde der Fokus auf die menschlichen Körpermaße gelegt. In einer Querschnittstudie unter rund 800 Personen wurden dazu aktuelle anthropometrische Daten von Händen einer repräsentativen Stichprobe der deutschen Wohnbevölkerung ermittelt und ausgewertet.

Die Pilotstudie (standardisierte Befragung von Anwendern) lieferte zunächst Hinweise auf altersspezifische Unterschiede in der Bewertung der Interaktionssysteme (CNC-Steuerungsoberflächen) unterschiedlicher Hersteller. Bedienfehler konnten u. a. auf variierende Anordnungen von Stellteilen, Mehrfachbelegungen von Tasten sowie auf deren nicht eindeutigen Druckpunkt zurückgeführt werden. Oft wurden dabei die Abmessungen der Stellteile als zu klein bemängelt. Verschiedene Aspekte der Arbeitsplatzgestaltung, wie z. B. die Sichtmöglichkeiten in den Fertigungsraum oder die Lage und Anordnung des Bedienfeldes stehen im Zusammenhang mit teilweise ungünstigen Körperhaltungen und Beschwerden des Muskel-Skelett-Systems.

Loop 1 (Felduntersuchungen mit Hilfe eines Eye-Tracking-Systems) lieferte Erkenntnisse über die Performance von Personen bei unterschiedlichen CNC-Maschinen. Dabei konnten intra- aber auch interindividuelle Unterschiede in der Bedienung festgestellt werden. Bewertet wurde hierbei auch die Gestaltung von visuellen und haptischen Informationen auf verschiedenen Bedienfeldern. Beim Vergleich von zwei Steuerungen mit werkstatorientierter Programmierung (Variante H1: Werkstatorientierte Programmierung anhand von Eingabemasken und Variante H3: Werkstatorientierte Programmierung mit DIN/ISO-Programmierung) zeigte sich bei den Anwendern eine deutlich bessere Performance zugunsten der Variante mit den Eingabemasken. Keines der untersuchten Bedienfelder entsprach allerdings vollständig den Benutzeranforderungen. Außerdem wurden während der Programmier- und Bedientätigkeiten häufig ungünstige Hand-Arm-Positionen und Körperhaltungen eingenommen.

Die Ergebnisse aus Loop 1 bestätigten sich auch in den Tätigkeitsanalysen in den Felderhebungen (Loop 2). Hier zeigte sich, dass einige Tätigkeiten, wie z. B. die Überwachung des Fertigungsprozesses bis zu 100% des Arbeitstages andauern kann und dabei meist ausschließlich in stehender und teilweise weit vorgeneigter Körperhaltung durchzuführen ist. Neben der unmittelbaren Arbeit an CNC-Maschinen haben Maschinenführer nicht selten umfangreiche manuelle Lastenhandhabungen zu verrichten.

Die Auswertung der erhobenen anthropometrischen Handmaße aus Loop 3 wiesen auf verschiedene Entwicklungen der betrachteten Maße hin: im Vergleich zu den verfügbaren Vergleichsdaten aus aktuellen Normen und der Literatur stieg zum einen das 95. Perzentil der Daumendicke an, zum anderen nahm der Wert des 5. Perzentils der Zeigefingerdicke ab.

Auf Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse wurden Empfehlungen zur Auswahl und Gestaltung von CNC-Maschinensteuerständen für Anwender und Einkäufer erarbeitet. Diese geben konkrete Hinweise für Gestaltungsmöglichkeiten bei Werkzeugmaschinen und deren Elemente im Arbeitssystem. Dies soll helfen, den Anteil ergonomischer und demografiefester Arbeitsplätze in den Betrieben zu erhöhen, an welchen das Arbeiten für Mitarbeiter jedes Alters ermöglicht wird.

Weiterhin wurden Forschungs- und Entwicklungsbedarfe abgeleitet, um die Ergebnisse dieser Untersuchungen auch auf andere Tätigkeiten und Arbeitssysteme zu übertragen.

Abstract

The technical progress of the past few decades have substantially changed the work environment by new technologies. While computers, laptops and tablets have replaced typewriters in the administrative area, Computerized Numerical Control (CNC) is being used more and more on machinery tools in manufacturing industry in order to make manufacturing more flexible, efficient and faster.

The step-by-step implementation of CNC technology has challenged and is still challenging employees and companies in various ways. On the one hand, elder employees, who have always carried out physically strenuous work on conventional machines, are being confronted more and more with knowledge-based computerized systems that are often unfamiliar to them. On the other hand, at the time of demographic changes with the increasing of employee's age, companies face an issue to still be competitive on the international market. The CNC technology is in constant development. That is why "lifelong learning" of workers in manufacturing area is essential for the competitiveness of companies.

This paper observes work place of machine operator and, especially, adaptation of the CNC system to the worker. Emphasis is placed on the possibility to find an appropriate design of information means of the CNC control unit, e.g. control elements and displays.

Based on studies in this paper, the usability of the system "CNC machine" was tested for the phases of first and further education with objective measurement methods and procedures. Besides this, also the subjective aspects of the work of CNC machine tools have been observed. To achieve this, was checked whether the operation of a CNC machine is designed in such a way that it can be easily operated by users of any age, experience level or experience background. Also the physical strain presented after the implementation of the CNC technology was observed.

In the pilot study, general information about weaknesses and possible issues of man-machine-interface of CNC machine were detected. For this purpose, a survey was carried out among 122 users in several training centers in the region of Bergisches Land. The survey has been carried out by a standardized questionnaire, which has been developed for this purpose. Based on received data, working hypotheses were derived and further examined in three different studies, here called "loops".

In Loop 1, first of all the technical aspect of operating CNC machines has been observed. Usability tests were carried out on CNC machines in training centers with 24 users. As a result the subjective data collected in the pilot study was added by objective data from measurements during the operation CNC machines. Tests were conducted with the help of the so-called Eye-Tracking system that can be used to record the performance of a person while operating a CNC machine.

In Loop 2, about 800 job task analyses describing the system "machine operator" at workplaces derived with the help of so-called "Ergonomic Risk Assessment" (BDS) were analyzed. It was found out which part of working time machine operator spends for the operating a CNC machine and which part for other activities which is usually done. Especially body posture, load handling and work intensity were observed.

Loop 3 was focused on the human body size. During a cross-section study made among 800 people, the current anthropometric data of a representative sample of the German resident population was obtained and analyzed.

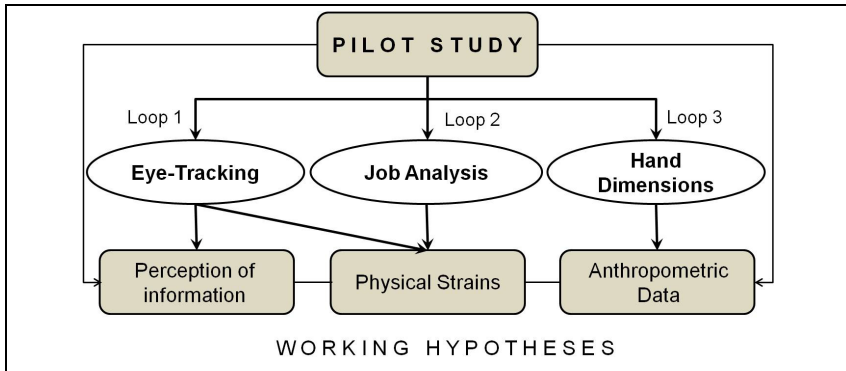


Fig. 1.1: Graphical representation of the structure and contents of this paper

The pilot study (standardized survey of users) firstly indicated age-specific differences in the evaluation of interaction systems (CNC control interfaces) of various producers. Operating errors were also traced to varying designs of operating elements, multiple assignments of buttons and their unclear pressure point. The dimensions of the operating elements are often criticized to be too small. Different aspects of the organization of the work place e.g. access to the machining space or the position and arrangement of the operating panel are connected with partly unfavorable body postures and complaints in the musculoskeletal system.

Loop 1 (field tests with the help of an eye-tracking system) provided information's about the performance on different CNC machines. As a result, intra-individual as well as inter-individual differences in operation were found. Here, design of visual and tactile information means on various control panels was observed. The comparison of two control panels with shopfloor programming (version H1: Shopfloor programming using input mask and version H3: Shopfloor programming with DIN/ISO-programming) showed a significant better performance among users in favor of the version with input masks. However, none of the tested control panels completely met the user requirements. Moreover, unfavorable hand-arm positions and body postures were often taken during programming and operating activities.

The results from Loop 1 were also confirmed in the job analyses in field data collecting (Loop 2). It shows that some jobs, e.g. monitoring the machining procedure can take up to 100% of the workday and are mostly done only in standing or partly in a forward-leaning position. Apart from the actual work on CNC machines, machine operators have to often carry out extensive manual handling of loads.

Abstract

The analysis of the anthropometric data from Loop 3 showed different trends of the observed data. In comparison to the available data from the current standards and literature, increasing of the 95th percentile of thumb width and at the same time decreasing of the 5th percentile of the forefinger thickness was detected.

Based on the gained knowledge, recommendations for choosing and designing of CNC control unit were developed for users and buyers. These provide specific instructions for design possibilities of CNC machine and its elements in the working system. It should help to increase the part of ergonomic and demographic work places in companies and make it possible for employees of any age to do their work.

All this shows the needs of further development and research to transfer results of this study to other activities and working systems.

1 Einleitung und Zielstellung

1.1 Hintergrund dieser Arbeit

1.1.1 Betriebswirtschaftliche Aspekte der Arbeitsgestaltung

Um in der modernen Welt national wie international wettbewerbsfähig zu sein, müssen Unternehmen in ihrer Arbeitsorganisation flexibel auf dem Markt agieren und reagieren können. Dies gilt insbesondere für die europäischen Hochlohnländer, zu denen auch die Bundesrepublik Deutschland zählt. Dabei wächst der innerbetriebliche Druck, eine hohe Produktqualität bei möglichst geringen Kosten und Produktionszeiten zu erreichen.

Mit der Einführung von Mikroprozessoren in den Fertigungsbereichen wurden auch neue Strategien und Konzepte entwickelt, um die Arbeitsorganisation dementsprechend zu optimieren. Zu solchen Konzepten gehört u. a. auch die so genannte „Lean-Produktion“ (schlanke Produktion) [SCHREIBER & KUHN, 1995]. Vor allem für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) ist es häufig notwendig sich auf die Lean-Produktion umzustellen, um konkurrenzfähig zu bleiben. Ein wesentliches Kriterium der Lean-Produktion ist die Beseitigung jeglicher Verschwendungen, wie z. B. im Hinblick auf die Zeit (kurze Rüstzeiten) oder auf Materialien (niedrige Fehlerrate). CNC-Werkzeugmaschinen finden überwiegend im industriellen Umfeld Anwendung. Klein-, Mittel- und Großunternehmen arbeiten heutzutage mit rechnergesteuerten Werkzeugmaschinen sowohl in der Massenproduktion als auch bei der Produktion geringer Stückzahlen.

Beide Produktionstypen dienen dazu, die Produktivität zu steigern, die Kontrolle der Produktion zu verbessern und die Kosten zu senken. Sie unterscheiden sich nicht in ihren Zielen, sondern in den Wegen um diese Ziele zu erreichen [VOLLMER, 1995]. Dabei stellt das Konzept der Just-in-Time-Produktion sicher, dass Güter zur richtigen Zeit in der richtigen Menge an den richtigen Ort zu liefern sind [SYSKA, 2006]. Bedeutsam sind eine geringe Fehlerrate und - damit verbunden – ein Vermeiden von z. T. hochwertigem Materialenausschuss. Dabei spricht man auch über die Größe „First pass yield“ (das erste produzierte Teil – z. B. nach dem Einrichten oder Umrüsten einer Maschine (muss bereits passen) oder der „Null-Fehler-Rate“.

Moderne Maschinen und Anlagen erlauben heutzutage eine schnelle und präzise Bearbeitung von Prozessen und unterstützen dabei die Wirtschaftlichkeit der Just-in-time-Produktion. Somit steigt der Produktionsgewinn des Unternehmens, aber auch die Komplexität der Maschinen und Anlagen, was häufig den Umgang mit diesen Arbeitsmitteln komplexer und auch komplizierter macht. Dabei stellt insbesondere die Mehrmaschinenbedienung (Bedienung mehrerer Maschinen gleichzeitig oder hintereinander) eine Herausforderung für den Maschinenführer dar, da Werkzeugmaschinen im gleichen Unternehmen oft mit Steuerungen unterschiedlicher Hersteller ausgestattet sind, die wiederum auf unterschiedlichen Interaktionsphilosophien basieren.

Fehlbedienungen können nicht nur die Kontinuität der betrieblichen Produktion stören und dadurch zu materiellen Verlusten sowie der Unterbrechung der Produktion führen, sondern auch physische und psychische Fehlbelastungen des Maschinenführers zur Folge haben, die dann auch zu Ausfallzeiten der betroffenen Beschäftigten führen können. Die Sicherheit

und Ergonomie von Werkzeugmaschinen sind daher auch aus betriebswirtschaftlicher Sicht von hoher Bedeutung.

1.1.2 Human-zentrierte Aspekte der Arbeitsgestaltung

Die moderne Gesellschaft ist ohne Interaktion zwischen Mensch und Maschine nicht mehr denkbar. Dies fängt häufig bereits in der Kindheit mit modernen Spielkonsolen an, über die Schulzeit bis zum Arbeitsplatz, wo der Umgang mit Rechnern, Laptops, Tablets und Smartphones für die meisten Menschen alltäglich geworden ist. Moderne Büroarbeitsplätze sind nahezu ausschließlich mit Bildschirmgeräten ausgestattet.

Die (Arbeits-)Anforderungen verlangen häufig von uns, dass wir auch am Arbeitsplatz jedes Gerät problemlos sofort bedienen können. Diese Anforderungen gelten nicht nur für typische Büroarbeitsplätze sondern auch zunehmend für Arbeitsplätze im Fertigungsbereich. Ergebnisse aus früheren Untersuchungen [vgl. FRÖHLICH & HILD, 1991; VOLLMER, 1995] aber auch Studien aus den letzten Jahren [vgl. KLUSSMANN et al., 2009] zeigten, dass die Bedienung u. a. von komplexen Maschinen häufig mit Anwendungsproblemen verbunden ist. In diesem Zusammenhang ist insbesondere auf die Vielfalt von Funktionen und auf die daraus häufig folgende komplizierte Bedienung der Maschine sowie das Arbeiten unter Zeitdruck, die geringe Beeinflussbarkeit der Arbeit und die Verantwortung für teure Maschinenhardware hinzuweisen.

Um mögliche Fehlbelastungen für den Menschen zu vermeiden, müssen alle Elemente des CNC-Maschine-Arbeitssystems sowie die in diesem System enthaltenen Interaktionen durch eine ergonomische Gestaltung unterstützt werden.

Durch die demographischen Entwicklungen in der modernen Gesellschaft wird die Frage der Arbeitsorganisation zunehmend relevant. Der viel diskutierte demographische Wandel hat alle Bereiche unseres Lebens „erobert“, das betrifft auch die Beschäftigten in Produktionsbereichen. Die Zahl von älteren Personen steigt nicht nur allgemein in der Gesellschaft sondern auch unter den Beschäftigten. Dies bedeutet, dass immer mehr ältere Mitarbeiter länger als bisher (Stichwort: „Rente mit 67“) im Betrieb bleiben und sich somit auch länger mit neuen Technologien auseinander setzen müssen. Dem gegenüber führen die demographischen Entwicklungen dazu, dass in den letzten und auch verstärkt in den kommenden Jahren die Schülerzahlen und somit auch die Zahlen der potenziellen, zukünftigen Auszubildenden zurückgehen [LANGHOFF, 2009]. Dies stellt vor allem für kleine und mittlere Unternehmen eine Herausforderung für die Fachkräftesicherung dar [vgl. SCHÜTT, 2010].

Hersteller von CNC-Werkzeugmaschinen orientierten sich in der Vergangenheit überwiegend an den Anforderungen und Bedürfnissen der Großunternehmen. Jedoch sind CNC-Maschinen heute auch aus den kleinen und mittleren Unternehmen nicht mehr wegzudenken [ZHOGE, 1994]. Die teilweise rasanten Entwicklungen im Bereich der Mikroelektronik tragen mit dazu bei, dass weiter schnellere und präzisere Maschinen hergestellt werden, welche mit neuen und optimierten Steuerungen ausgestattet sind. Diese müssen von Mitarbeitern in den Betrieben möglichst schnell erlernt und fehlerfrei bedient werden können. Für ein möglichst rasches Aneignen der Technik durch den Maschinenführer sind einerseits Erfahrung und andererseits auch eine hohe Lernbereitschaft und Lernfähigkeit erforderlich [MARTIN &

ROSE, 1992]. Allerdings ist bekannt, dass die Lernfähigkeit und -bereitschaft mit dem Alter eher nachlässt [vgl. SAUP, 1993].

Ein wesentlicher Aspekt der ergonomischen Arbeitsgestaltung ist es, dass notwendige Informationen in jedem Land und von jedem Mitarbeiter schnell und verständlich wahrgenommen werden können. Somit ist die Einbeziehung von kulturabhängigen Faktoren in die Produktgestaltung von großer Bedeutung [vgl. VOGELANG, 1999]. Eine Untersuchung von ZÜHLKE et al. [1998] zeigte, dass in vielen Ländern, wo die Symbolik nicht so ausgeprägt ist wie in den Europäischen Ländern, viele Symbole von Bedienfeldern an Werkzeugmaschinen falsch gedeutet wurden. Eine kulturübergreifende, intuitive und somit einfach zu verstehende Bedienung erlaubt den Menschen aller Nationalitäten und unterschiedlichen Alters neue Systeme schnell und effektiv zu erlernen und ist aus ergonomischer und somit human-orientierter Sicht anzustreben.

1.2 Zielstellung dieser Arbeit

Das Arbeitssystem des Anlagenführers und hier insbesondere der CNC-Steuerstand werden untersucht, um ergonomische Gestaltungsansätze abzuleiten. Ziel ist es, sowohl die kognitiven wie physischen Anforderungen zu beschreiben und daraus konkrete Maßnahmen abzuleiten, die die Erlernung der Programmierung von CNC-Maschinen vereinfachen sowie eine ergonomische Optimierung der Arbeit an den Maschinen bezüglich der physischen und psychischen Belastungen gewährleisten. Hierbei gilt es den Arbeitsplatz so zu gestalten, dass Personen jeden Alters ohne körperliche Beschwerden die Arbeit bis zum regulären Ende ihres Berufslebens ausführen können.

1.3 Überblick dieser Arbeit

Nach der Einleitung wird im zweiten Kapitel der vorliegenden Arbeit in die CNC-Technik eingeführt und die Voraussetzungen für deren Einführung, die Entwicklungsschritte der vergangenen Jahre aber auch die in diesem Zusammenhang aufgetretenen Probleme, welche diese hervorgerufen haben, beschrieben. Weiterhin werden sowohl technische als auch personenbezogene Aspekte von CNC-Maschinenarbeitsplätzen für eine menschengerechte Arbeitssystemgestaltung betrachtet. Zudem werden die aus bisherigen Studien abgeleiteten Erkenntnisse vorgestellt und erläutert.

In Kapitel 3 werden die Ziele und die Auswahl der Methoden der Pilotstudie sowie deren Durchführung und die Auswertungsmethoden erläutert.

Die Ergebnisse der Pilotstudie ebenso wie die Methodik und Ergebnisse der ihr folgenden drei Loops werden in Kapitel 4 beschrieben.

Die Ergebnisse werden dann in Kapitel 5 diskutiert und mit wissenschaftlichen Erkenntnissen aus früheren Studien verglichen.

Auf Grundlage der aus den durchgeführten Untersuchungen abgeleiteten Erkenntnisse werden im Kapitel 6 Empfehlungen für die Gestaltung der Bedienfelder von CNC-Werkzeugmaschinen und für Maschinenarbeitsplätze gegeben, die für Konstrukteure und Einkäufer entsprechender Produkte eine Hilfestellung geben soll.

2 Historische Entwicklung von CNC-Maschinen und -steuerständen

Die *Werkzeugmaschine* (auch als Fertigungsmittel oder Fertigungseinrichtung bezeichnet) dient der Bearbeitung von Werkstücken mit Hilfe verschiedener Werkzeuge entsprechend der gegebenen Fertigungsaufgabe [nach BÖGE, 2009]. Die Bearbeitung von Werkstücken erfolgt durch umformende, spanende, trennende und/oder fügende Verfahren. Eine Werkzeugmaschine kann manuell oder automatisch betrieben werden. Im Gegensatz zu manuell betriebenen (konventionellen) Werkzeugmaschinen erlauben automatische (computergesteuerte) Werkzeugmaschinen schnellere und präzisere Bearbeitungsprozesse. Sie wurden zunächst als NC-Maschine (**N**umerical **C**ontrol – „Steuern mit Zahlen“) und heute auch als CNC-Maschine (**C**omputerized **N**umerical **C**ontrol) bezeichnet. Der Bearbeitungsprozess läuft dabei nach einer vorher programmierten Folge ab. Als *Werkstück* können verschiedene Materialien wie z. B. Metall, Holz und Kunststoff verarbeitet werden. Die Bearbeitung erfolgt mit Hilfe von unterschiedlichen *Werkzeugen* auf Dreh-, Fräs-, Bohr-, Säge-, Schleif- und anderen Werkzeugmaschinen.

2.1 Technische Aspekte der Entwicklung der (C)NC-Technik

Die Entwicklung der Produktionstechnik über die verschiedenen Stufen der Automatisierung erfolgte fließend. Sie wurde zu einem großen Teil von der Vielfalt der technischen Möglichkeiten sowie der innovativen Entwicklungen im Bereich der Datenverwaltung und -bearbeitung beeinflusst [REFA, 1991]. Erste Schritte der Automatisierung in der Produktion erlaubten zunächst die mechanische Steuerung von Weg- und Schaltinformationen. Die flexible Fertigungsautomatisierung ist im weiteren Verlauf im Wesentlichen durch die Entwicklung von Mikroprozessoren gekennzeichnet.

Die ersten Steuerungen in Form von gelochten Blechkarten benutzte schon im Jahre 1808 Joseph M. Jacquard bei einer Webmaschine [KIEF & ROSCHIHAL, 2009]. Die weiteren Entwicklungen in diesem Bereich erlaubten eine deutliche Reduzierung der Handarbeit allerdings bestand der Nachteil, dass Änderungen des Programms einen hohen Arbeits- und Kostenaufwand nach sich zogen und dass aufgrund der langen Rüstzeiten und der aufwendigen Fertigungsabläufe eine nur geringe Flexibilität erreicht werden konnte [WECK & BRECHER 4, 2006].

Eine deutliche Verbesserung brachte das bereits oben genannte „Steuern mit Zahlen“ (Numerical Control). Dies ist eine Steuerungstechnik, welche alle geometrischen (Abmessungen des Werkstückes) und technologischen (bearbeitungsvorgangsbezogenen) Daten in Form von Zahlen hinterlegt. Dabei können Bearbeitungs-, Einrichtungs- oder Umrüstungsprozesse ohne Eingriff des Maschinenführers durchgeführt werden [ZSCHÖGE, 1994; KIEF & ROSCHIHAL, 2009].

Zu Beginn der 1970er Jahre wurden erste Minicomputer entwickelt, welche in rechnerunterstützten Steuerungen eingesetzt wurden und schon um 1976 revolutionierten die Mikroprozessoren die CNC-Technik [KIEF & ROSCHIHAL, 2009]. Es entstanden leistungsfähige CNC-Steuerungen, die eine weitere Verbreitung in fast allen Fertigungsbereichen fanden. Die Weiterentwicklung der CNC-Technik erlaubte die Erstellung

der Programme an externen Rechnern und die weitere Übertragung mit Datenträgern in den Speicher der Maschinensteuerung.

Diese Entwicklungen trugen schon Mitte der 1970er Jahre dazu bei, dass die Steuerungen immer mehr werkstatorientiert gestaltet werden konnten. Dies ermöglichte die Bearbeitung des Programms unmittelbar an der Maschine durch den Maschinenführer und führte somit zu einer deutlichen Minderung der Arbeitsverteilung [ZSCHOGHE, 1994].

Mitte der 1970er Jahre lag der Anteil der numerisch gesteuerten Maschinen der gesamten Werkzeugmaschinenproduktion lediglich bei 1%, zehn Jahre später lag der Anteil bereits bei über 15% [VOLLMER, 1995] und heute sind sie aus der Produktion sogar in kleinen und mittleren Unternehmen nicht mehr wegzudenken.

Zu den wesentlichen Qualitätskriterien von Werkzeugmaschinen zählen in einem hohen Maß die Leistungsfähigkeit und der Preis der eingesetzten Steuerung. Weitergehende Entwicklungen der numerischen Steuerungen in den 1980er Jahren führten zu einer erheblichen Verbesserung der Leistungsfähigkeit. Der Einsatz von Grafikbildschirmen erlaubte zudem eine problemorientierte, anwendergerechte Oberfläche [REFA, 1991; WAHL et al., 1999]. Seit der Entwicklung der Automatisierungstechnik wurden zahlreiche europäische Unternehmen zur Herstellung von CNC-Steuerungen gegründet, die dann überwiegend auf dem europäischen Markt vertreten waren [WECK & BRECHER, 2006].

Im Jahr 2004 spielten dann jedoch nur noch wenige namenhafte Hersteller von CNC-Steuerungen, wie z. B. Fanuc, Siemens, Mitsubishi, Heidenhain oder Bosch auf dem Weltmarkt eine entscheidende Rolle während kleine Hersteller nur noch eine regionale Bedeutung hatten. Aus einer Online-Umfrage mit 1.338 Teilnehmern einer Feldstudie zu CNC-Steuerungen von Produkten und Herstellern aus dem Jahr 2007 des Internetforums CNC-Arena¹ geht hervor, dass die befragten Personen die meisten Erfahrungen in der Bedienung von Steuerungen von Heidenhain oder Siemens aufwiesen.

2.2 Soziale Aspekte bei der Implementierung der CNC-Technik

Zu Beginn des Wiederaufbaus der industriellen Fertigungsbereiche in Deutschland nach dem zweiten Weltkrieg wurde überwiegend auf Basis bestehender Ressourcen und Konzepte vorgegangen, unterstützt mit Werkzeugmaschinen aus vorwiegend den USA und Japan. Wenig später begann die Herstellung numerisch gesteuerter NC-Werkzeugmaschinen auch in Deutschland, wobei diese erst in den 1980er Jahren eine größere Verbreitung fanden [VOLLMER, 1995]. Diese Zeit wird vielfach als die „dritte technische Revolution“ bezeichnet [vgl. z. B. BLEICHER et al., 1984].

¹ Die Online-Version des Berichtes kann unter <http://www.maschinenmarkt.vogel.de/fachwissen/whitepaper/downloads/6202> heruntergeladen werden. Zuletzt geprüft am 01.08.13.

Auch in Deutschland liegt die Zeit nicht sehr weit zurück, in der körperlich schwere Arbeit für viele Beschäftigten in Fertigungsbereichen von Industrie und Handwerk sehr häufig anzutreffen waren. Dennoch wurde die Einführung der Mikroelektronik in der Fertigung, welche die Automatisierung der Produktion in den 1970er Jahren ermöglichte und somit manuelle und meist schwere körperliche Arbeit in großen Teilen übernehmen und die Arbeit erleichtern konnte, von vielen Beschäftigten kritisch gesehen. Aufgaben, die vorher noch von einer Vielzahl von Beschäftigten durchzuführen waren, wurden auf einmal von einer Maschine oder von einem Roboter schneller und präziser realisiert. Zudem wurden ganze Fertigungsbereiche mit mehreren Stationen und daran arbeitenden Beschäftigten in automatisierte Produktionen umgewandelt, was zu dem Verlust von vielen Arbeitsplätzen führte.

Zudem befand sich in dieser Zeit die Wirtschaft der entwickelten Industriestaaten in einer schweren Strukturkrise. Hohe Arbeitslosenzahlen kennzeichneten die Schwere der Lage in fast allen Ländern. Die neue, revolutionäre Technik brachte nicht nur Hoffnungen sondern insbesondere unter der Arbeitnehmerschaft auch viele Befürchtungen mit sich. Die Hoffnungen lagen überwiegen bei den Unternehmern, die sich mit den neuen Technologien einen Automatisierungsschub in ihren Produktionsstätten versprachen und damit eine erhöhte Produktionsflexibilität sowie niedrigere Fertigungskosten [FRÖLICH & HILD, 1991]. Die Befürchtungen der Beschäftigten um ihre Arbeitsplätze waren nicht unbegründet. So sank die Zahl der Beschäftigten in Fertigungsbereichen in der Periode von 1970 bis 1977 von 9,7 auf 7,84 Mio. Beschäftigte [Spiegel 16/78].

Man sprach damals über „mannlose“, vollautomatisierte Produktionen [VOIGT, 1986]. Allerdings ließ sich auch bis heute die völlig menschenleere Fabrik nicht realisieren. Die Technik erwies sich mehrfach als komplex und die neuen Automatisierungstechnologien nach wie vor als lückenhaft. Dort, wo Schwachstellen entstanden, wurden dann doch wieder Menschen eingesetzt. In dieser Kombination des Maschine-Mensch-Systems wurde dann meist der Mensch der Maschine „angepasst“ und füllte so vielfach als „menschlicher Roboter“ die durch unvollkommene Technikverkettung entstehenden Lücken im Produktionsprozess [FRÖHLICH & HILD, 1991].

Auch bis heute – egal wie intelligent moderne Systeme sein mögen – brauchen Maschinen und Anlagen immer noch den Menschen für die Überwachung des Fertigungsprozesses. Die deutlich fortschreitende Globalisierung verschärfte auch die Wettbewerbsbedingungen deutscher Unternehmen. Um konkurrenzfähig zu bleiben, mussten die Unternehmen bei höherer Flexibilität und geringeren Rüstzeiten komplexere und hochwertige Produkte höherer Qualität in kurzen Produktionslaufzeiten produzieren [VOIGT, 1986].

Die Konsequenzen der Einführung der CNC-Technik auf die Beschäftigten in den Fertigungsbereichen wurden in Forschungsberichten der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin nach FAILMEZGER et al. [1989] und ZSCHOGGE [1994] in drei wesentliche Bereiche unterschieden. Zum einen haben sich mit Einführung der CNC-Technik die Tätigkeitsinhalte grundsätzlich verändert. Die eigentlichen Fertigungsaufgaben wurden durch CNC-Maschinen abgelöst.

Damit haben sich auch die Anforderungen bezüglich der Qualifikation von Beschäftigten verändert. Die Qualifikationsverluste lagen überwiegend bei den Facharbeitern, während sich bei den quantitativ kleinen Beschäftigtengruppen im Bereich der technischen Planung und Steuerung die Qualifikationsanforderungen erhöhten [FRÖHLICH & HILD, 1991]. Dies änderte die Belastungssituation bezüglich der Arbeitsaufgaben und der Arbeitsinhalte und führte häufig auch zu einer Erhöhung der psychischen Belastungen (vgl. Abschnitt 2.4). Allerdings waren auch positive Auswirkungen des vermehrten Einsatzes von CNC-Werkzeugmaschinen zu beobachten. So zeigte eine Befragung der IG Metall aus den Jahren 1982/83 [nach VOIGT, 1986], dass der Einsatz der CNC-Technik zu einer Senkung der körperlichen Belastungen und zu einer Erhöhung der Verantwortung unter den Beschäftigten geführt habe, was die Arbeit im industriellen Fertigungsbereich anspruchsvoller und interessanter gestaltet.

2.3 Tätigkeiten des Maschinenführers moderner CNC-Werkzeugmaschinen

Die Arbeitsschwerpunkte sind bei konventionellen und computergestützten Maschinen sehr unterschiedlich. Bei der Arbeit an konventionellen Werkzeugmaschinen steht hauptsächlich die manuelle Arbeit bei häufig ungünstigen Körperhaltungen im Vordergrund. Der Maschinenführer nimmt aktiv und unmittelbar am Bearbeitungsprozess teil, was allerdings die Massenproduktion erschwert.

Mit der Einführung der CNC-Technik sind die Tätigkeiten des Maschinenführers im Wesentlichen auf die Bedienung der Maschine und des Maschinensteuerstandes, sowie Einlege- und Entnahmetätigkeiten (Beschicken der Maschine) begrenzt. Im Vergleich zur konventionellen Maschinenführung treten körperlich anstrengende Tätigkeiten in den Hintergrund und eher kognitive, qualifizierungsbezogene Tätigkeiten in den Vordergrund. Für Maschinenführer, die die Einführung von CNC-Maschinen in ihrer Produktion hautnah miterleben, kann dies zu einer qualitativen Unterforderung sowie aber auch zu quantitativen Überforderungen, wie Leistungsdruck oder Arbeitstempo, führen [VOIGT, 1986].

In großen Unternehmen werden diese Tätigkeiten oft unter dem Aspekt der Arbeitstätigkeitsaufteilung betrachtet und dementsprechend durch verschieden qualifizierte Mitarbeiter durchgeführt (vgl. Tab. 2.1). Hier werden Programmierung, Maschineneinrichtung und Maschinenführung durch unterschiedliche Beschäftigte durchgeführt. Demgegenüber wird dies in kleinen und mittleren Betrieben oft nur von einem Maschinenführer übernommen. Eine detailliertere Aufteilung von Arbeitstätigkeiten ist nach VOIGT [1986] kaum noch praktikabel.

Tab. 2.1: Aufteilung der Arbeitstätigkeiten an CNC-Werkzeugmaschinen

Arbeitstyp	Inhalt	Ausführung
Programmieren	Übersetzen der Zeichnung inkl. der technischen und geometrischen Werte in ein Programm.	Programmierer ¹ ; Maschineneinrichter ² ; Maschinenführer ³
Programmsimulation und -optimierung	Testen und ggfs. Korrektur des Programmablaufs, falls nötig Programmoptimierung bzw. Neuprogrammierung.	Programmierer; Maschineneinrichter; Maschinenführer
Einrichten, Rüsten, Bestücken	Erforderliche Werkzeug- und Werkstückabmessungen, Werkzeugvoreinstellungen u. ä. werden in die Steuerung eingegeben.	Maschineneinrichter; Maschinenführer
Bedienen, Überwachen	Beobachten von Arbeitsvorgängen, Überwachung des Betriebszustandes der Anlage u. ä.	Maschinenführer
Beschicken, Entladen	Entnahme des fertigen Werkstückes aus der Vorrichtung bzw. Einspannen des Werkstücks in die Vorrichtung.	Maschinenführer
Wartung, Kontrollieren	Pflege, Instandsetzung und Instandhaltung der Anlage, sowie Maß- und Oberflächenkontrolle.	Maschineneinrichter Maschinenführer

¹ In Großbetrieben kommt die externe Programmierung häufiger vor als in kleinen und mittleren Unternehmen. Der Maschinenführer nimmt hier in der Regel keine Programmänderungen vor.

² Maschineneinrichter übernehmen vorhandene Programme, testen und optimieren diese oder programmieren bei Bedarf um. Teilweise können sie die Programme auch selbst erstellen.

³ In KMU, welche oft mit weniger personellen Ressourcen auskommen müssen als in Großbetrieben, werden häufig alle oben genannten Arbeitstypen durch den Maschinenführer durchgeführt.

Im Folgenden werden die einzelnen Tätigkeiten beim Umgang mit CNC-Werkzeugmaschinen kurz erläutert:

Programmieren

In der Vergangenheit wurden die meisten CNC-Programme durch spezielle Programmierbüros erstellt. Eine solche Aufgabenteilung besteht auch heute immer noch in vielen großen Unternehmen. Heute ist die Programmierung Teil der Ausbildung zum Maschinenführer und es werden bereits die Auszubildenden in den CNC-Fachkraft-Ausbildungskursen mit den Programmiermöglichkeiten moderner Maschinen vertraut gemacht, dies von der so genannten „DIN-Programmierung“ bis hin zur maschinenspezifischen Programmierung. Maschinenführer werden so in die Lage versetzt, eine werkstatorientierte Programmierung (WOP) unmittelbar an der Maschine durchzuführen.. Die Einbettung von computergesteuerten Werkzeugmaschinen in ein Computernetzwerk, oder mobile Speicher, erlauben dabei eine gewisse Flexibilität bei Programmaufrufen. Die Kapazität des Speichers einer Steuerung erlaubt die Speicherung mehrerer Programme, die dann an der Maschine abrufen werden können.

Programmsimulation und -optimierung

Moderne Maschinensteuerungen ermöglichen eine graphische zweidimensionale (2D) bzw. dreidimensionale (3D) Simulation des verwendeten Programms. Dabei wird der Bearbeitungsablauf abgespielt (simuliert). Falls ein Fehler im Programm vorkommt, weist die Simulation auf den Fehler hin. Bevor dieser Fehler nicht behoben wird, kann der Fertigungsprozess nicht gestartet werden. Dieser Arbeitsvorgang kann bereits unmittelbar nach der Programmerstellung erfolgen und/oder auch von einem Maschinenführer vor Ort, der das Programm unmittelbar an der Maschine noch einmal überprüft und evtl. korrigiert.

Einrichten, Rüsten, Bestücken

Einrichten, Rüsten ebenso wie Bestücken sind typische Tätigkeiten, die der Maschinenführer an einer modernen CNC-Maschine durchzuführen hat. Hierzu werden die Werkzeug- und Werkstückabmessungen, Werkzeugvoreinstellungen² (wie z. B. Null-Punkt) in die Steuerung eingegeben. Weitere Tätigkeiten sind z. B. Werkstücke aufnehmen und ablegen, Einspannen und Lösen des Werkstückes oder das Einschalten des Kühlmittels [vgl. REMPP, 1980]. Typische Werkzeugabmessungen können schon im Vorfeld bereits nach der Anschaffung einer Werkzeugmaschine in die Werkzeugdatenbank einprogrammiert werden.

Bedienen, Überwachen

Bedienen und Überwachen gehören neben den Einrichttätigkeiten zu den typischen Tätigkeiten eines Maschinenführers bei der Arbeit an einer CNC-Maschine. Dabei startet der Maschinenführer den Programmablauf, beobachtet den Arbeitsvorgang, überwacht den Betriebszustand der Anlage, erkennt falsche Steuerbewegungen, betätigt den Ausschalter bei Störungen, behebt Störungen und führt ggfs. Programmier- und Operatortätigkeiten bei Ausfällen durch [vgl. REMPP, 1980]. Während des Bearbeitungsprozesses sollte dem Maschinenführer eine gute Sicht in den Fertigungsraum möglich sein. In modernen Produktionsbereichen ist es auch üblich, dass ein Maschinenführer mehrere Maschinen bedient (Mehrmaschinenbedienung).

Beschicken, Entladen

Dabei werden die Werkstücke durch den Maschinenführer aus der Vorrichtung herausgenommen bzw. in die Vorrichtung eingespannt.

Wartung, Kontrollieren

Wartung und Kontrolle sind ebenfalls übliche Aufgaben des Maschinenführers. Dazu gehören Maß- und Oberflächenkontrollen bei der Bearbeitung, Kontrolle des fertigen Werkstücks, Pflegen der Anlage, Instandsetzung und Instandhaltung der Maschine [REMPP, 1980].

² Bei konventionellen Werkzeugmaschinen war eine Werkzeugvoreinstellung nicht vorhanden. Das Werkzeug konnte sich an der Werkstückkontur bewegen. Bei der numerisch gesteuerten Werkzeugmaschine geht es um exakt präzise Werkzeugmaße, die noch vor dem Bearbeitungsprozess in das Programm ermittelt werden müssen [VOLLMER, 1995].

2.4 Belastungen und Beanspruchungen im Produktionsbereich

2.4.1 Definition der Belastungen und Beanspruchungen

Auf jeden arbeitenden Menschen wirken unterschiedliche Einflüsse während der Ausübung seiner Tätigkeiten ein, deren Ursprung in seinen Arbeitsaufgaben, seinen Arbeitsmitteln und/oder in seiner Arbeitsumgebung liegen kann. Belastungen sind objektivierbare Größen, die auf den Menschen einwirken. Als Beanspruchung werden die individuellen Wirkungen der Belastungen bezeichnet. Diese hängt insbesondere mit den persönlichen Eigenschaften und/oder Fertigkeiten des Menschen zusammen.

Um die einwirkenden Belastungen und dadurch entstehenden Beanspruchungen in einer gesundheitsunbedenklichen Balance zu halten, sollte die Arbeit nach ergonomischen Prinzipien gestaltet werden. Dazu gehört nach LAURIG [1990] zunächst die Ausführbarkeit der Arbeit. Diese besagt, dass bei der Gestaltung des Arbeitsplatzes zum Beispiel die Körpermaße und Körperkräfte potenzieller Beschäftigter berücksichtigt werden, so dass das Erreichen von Stellteilen und Anzeigegeräten sowie das Betätigen der Stellteile auch durch kleine oder große bzw. stärkere oder schwächere Beschäftigte möglich ist. Ein weiteres wichtiges Kriterium ist, dass die Arbeit nicht nur ausführbar ist, sondern auch erträglich. Dies bedeutet, dass der Arbeitsplatz so gestaltet ist, dass z. B. keine ungünstigen Körperhaltungen und/oder ungünstige Arbeitsbedingungen entstehen, die auf Dauer Gesundheitsschäden hervorrufen können. Zur Ermittlung und Gestaltung von „Ausführbarkeit“ und „Erträglichkeit“ der Arbeit liegen eine Reihe von Hilfsmitteln (z. B. Normen mit Körpermaßen) vor. Die beiden weiteren von LAURIG [1990] benannten Kriterien der „Zumutbarkeit der Arbeit“ und der „Zufriedenheit mit der Arbeit“ können nur von Beschäftigten selbst bewertet werden. Zu den Einflussfaktoren gehören hier beispielsweise das Arbeitsklima oder die Zykluszeit.

Die Anforderungen aus dem Arbeitssystem stellen objektive Belastungen für die Menschen dar. Entspricht das Leistungsangebot des Menschen diesen Anforderungen, so ist die subjektiv empfundene Beanspruchung des Menschen gering. Ist dieses Leistungsangebot dagegen zu gering (Unterqualifikation) oder zu hoch (Überqualifikation), so tritt eine Überbeanspruchung auf, die auf Dauer die Gesundheit beeinträchtigt, aber auch gleichzeitig zu einer schlechten Arbeitsleistung führen kann [KOETHER et al., 2001].

Eine eindeutige Unterscheidung zwischen körperlich und psychisch belastenden Tätigkeiten ist nicht möglich. Jede körperliche Belastung beinhaltet in der Regel immer auch zumindest einen geringen Anteil an psychischen Belastungen.

2.4.2 Belastungen und Beanspruchungen während der Arbeit mit CNC-Werkzeugmaschinen

Eine Reihe von Studien aus den 1980er und 1990er Jahren [vgl. z. B. BÖHLE & MILKAU, 1987 und 1988; FRÖHLICH & HILD, 1991; MARTIN & ROSE, 1992; VOLLMER, 1995] zeigen auf, dass die Belastungen in psychomentalen Bereichen vermehrt zunehmen, während die körperlichen Belastungen deutlich abnehmen. FAILMEZGER et al., [1989] beschreiben die Veränderungen der Belastungssituation am Arbeitsplatz des Maschinenführers und die dortigen psychomentalen Belastungen wie folgt: „(...) *permanente*

Unsicherheit und Anpassung (...)“ sowie *„(...) häufiger als an vielen anderen Arbeitsplätzen stärke Konzentrationsanspannungen (...)*“.

Die Umstellung von konventionellen zu computergesteuerten Werkzeugmaschinen stellte die manuelle Bedienung der Maschine nach „Gefühl“, Erfahrung und Wissen in den Hintergrund. Als belastende Arbeitsbedingungen werden eine nicht ergonomisch orientierte Ausstattung von Anlagen, Über- und/oder Unterforderung, monotone Arbeitsvorgänge und/oder geringer Einfluss auf die Arbeitsabläufe genannt [BÖHLE & MILKAU, 1988; FALMEZGER et al., 1989; FRÖHLICH & HILD, 1991].

Ein sehr häufig in der Literatur hierzu beschriebenes Merkmal ist die Bedeutung der Arbeit. Hierzu gibt es widersprüchliche Aussagen. So wiesen die Ergebnisse aus den Untersuchungen von BÖHLE und MILKAU [1987, 1988] darauf hin, dass die Arbeit mit der Einführung von CNC-Technik aus der Sicht der Beschäftigten als weniger bedeutsam empfunden wird. Dagegen sprechen sich Beschäftigte in einer etwas früher durchgeführten Befragung der IG Metall [vgl. VOIGT, 1986] und in einer späteren Studie von FRÖHLICH und HILD [1991] dafür aus, dass die Arbeit an den computergesteuerten Werkzeugmaschinen eine höhere bzw. gleiche Bedeutung für sie habe.

Eine Studie von FAILMEZGER et al. [1989] zeigt, dass psychische Belastungen, die z. B. durch die optische Überwachung des Bearbeitungsprozesses entstehen, durch die Optimierung der Sicht in den Fertigungsraum gering gehalten werden können. Auch eine spätere Befragung von SCHULZE und GLOCKNER [1999] zeigte, dass die Optimierung der Sicht in den Fertigungsraum von den meisten Befragten als besonders wichtig eingeschätzt wurde. Eine bessere Einsicht in den Fertigungsraum kann z. B. durch große Sichtfenster ermöglicht werden. Bei großflächigen Sichtfenstern ist jedoch zu bedenken, dass diese bei einem möglichen Aufprall der Teile innerhalb des Fertigungsraums häufig eine Schwachstelle darstellen [MEWES et al., 2001].

Maschinenarbeitsplätze sind traditionell Steharbeitsplätze, an denen typische Beschwerden in den Bereichen Rücken und untere Extremitäten (Beine und Füße) zu erwarten sind. Hierzu werden zur Entlastung von ungünstigen Körperhaltungen seit Jahren als zusätzliche Gestaltungsmaßnahme Stehhilfen vorgeschlagen [FAILMEZGER et al., 1989; VOLLMER, 1995]. Ebenso können Zwangshaltungen, wie beim Rüsten der Maschine, beim Heben, Tragen und Handhaben schwerer Werkstücke und Vorrichtungen die Bereiche Rücken, Arme und Hände in erheblichem Maße beanspruchen. Die Ergebnisse der Untersuchung von VOLLMER [1995] zeigten, dass rund 20% der Befragten häufiges Müdigkeitsgefühl und Gelenkschmerzen in den oberen ebenso wie unteren Extremitäten aufwiesen. Bei rund 30% Befragten kamen immer (täglich) bzw. häufig (wöchentlich) Kopfschmerzen sowie Nackenschmerzen und -beschwerden vor. Eine der möglichen Ursachen der Nackenschmerzen lieferte die Untersuchung von BÖHLE und MILKAU [1988]. Aus dieser folgte, dass der häufige Blickwechsel zwischen dem starr angebauten Steuerpult und dem Fertigungsraum zur kontinuierlichen Kontrolle des Fertigungsprozesses eine mögliche Ursache für Nackenschmerzen darstellen kann.

2.5 Ergonomische Gestaltung der Arbeit

Einfach ausgedrückt kann der Begriff „Ergonomie“ als die „*Lehre von der Arbeit*“ übersetzt werden und mit dem damit verbundenen Wort „ergonomisch“ die „*menschengerechte Arbeit*“ beschreiben [LÖHR, 1976]. Etwas weiter geht das Technische Komitee Ergonomie der Internationalen Standard Organisation (ISO). Diese definiert Ergonomie als „ (...) *humanwissenschaftliches Wissen mit dem Ziel, eine Anpassung von Arbeit, Arbeitssystem und Umgebungen an die physischen und psychischen Fähigkeiten des Menschen herbeizuführen und damit sicherzustellen, indem gleichzeitig die Leistungsfähigkeit erhöht und das Arbeitsergebnis verbessert wird*“. Dabei dient sie einerseits dazu, Sicherheit, Gesundheit und Wohlbefinden des Menschen zu gewährleisten und verfolgt andererseits auch wirtschaftliche Interessen, wie z. B. die Steigerung der Produktivität und die Senkung der Nebenkosten.

Bei der Gestaltung von Arbeitsplätzen greifen die Bereiche der Ergonomie und des Arbeitsschutzes ineinander mit dem gemeinsamen Ziel der „menschengerechten Arbeitsgestaltung“. Ergonomie ist kein einfacher Wissensbereich, sondern eine komplexe Wissenschaft, welche viele verschiedene Fachdisziplinen vereint. Dazu gehören z. B. Physiologie, Psychologie, Anthropometrie und andere Bereiche der Ingenieurwissenschaften. Sie wird zudem als Teilgebiet der Arbeitswissenschaft wie auch der Sicherheitswissenschaft verstanden. Die beiden Disziplinen – Arbeits- und Sicherheitswissenschaft – haben nicht nur das gemeinsame Ziel den Mensch zu schützen, sondern gehen in vielen Fällen auch ähnliche Wege, um diese Ziele zu erreichen [MÜLLER, 1997].

Die menschengerechte Arbeitsgestaltung betrachtet hierzu zwei wichtige Aspekte. Ein Aspekt ist es, dem Menschen seinen Arbeitsplatz mit dafür vorbestimmten Arbeitsmitteln ergonomisch zu gestalten. Das bedeutet z. B., dass der Arbeitsplatz den Körpermaßen des Menschen angepasst ist. Dabei ist es wichtig, dass die Produkt- bzw. Arbeitsgestalter z. B. repräsentative Daten der potenziellen Nutzergruppe bzw. der Bevölkerung³ zur Verfügung haben. Ein weiterer Aspekt ist es, dass der Mensch mit seinen Fertigkeiten und Fähigkeiten wie z. B. Ausbildung, Qualifikation etc. dem Arbeitsplatz auch entspricht, damit Über- oder Unterqualifizierung und damit auch Über- oder Unterforderung vermieden werden.

Bei der menschengerechten Gestaltung der Arbeit wird insbesondere die Optimierung der Mensch-Maschine-Schnittstelle angestrebt. Für die Gestaltung von industriellen Produkten, wie beispielsweise Bedienfelder an Maschinen finden Gebrauchstauglichkeitsprinzipien Anwendung, die u. a. in nationalen und internationalen Normen festgeschrieben werden. Dazu gehören u. a. auch die in der DIN EN ISO 9241 Teil 110 [2008] beschriebenen Aspekte *Aufgabengemessenheit*, *Selbsterklärungsfähigkeit*, *Steuerbarkeit*, *Erwartungskonformität*, *Fehlerrobustheit*, *Anpassbarkeit* und *Erlernbarkeit*. Neben diesen Gestaltungsprinzipien wird auch häufig der Faktor Zufriedenheit mit der durchzuführenden Arbeit und Arbeitsaufgaben

³ Diese Problematik wird in einer aktuellen Studie des Instituts ASER aufgegriffen, welche sich mit der Sammlung aktueller Handmaß- und Handkraftdaten beschäftigt. Für weitere Informationen hierzu siehe www.institut-aser.de.

betrachtet, da man annimmt, dass ein zufriedener Beschäftigter auch eine gute Leistung erbringen kann.

Ergonomie hat grundsätzlich auch eine präventive Funktion. Sie sollte daher bereits im Gestaltungsprozess berücksichtigt werden (prospektive Ergonomie) und nicht erst im Nachhinein, als (kosten-)aufwendige Zusatzmaßnahme eingesetzt werden (korrektive Ergonomie). Hierzu müssen alle technischen Teilsysteme, mit denen der Mensch ein System bildet, auf den Menschen abgestimmt werden [LÖHR, 1976]. Dabei ist zu beachten, dass es natürlich keinen Standardmenschen gibt. So wie Menschen vom äußeren Erscheinungsbild und ihren psychomentalen Eigenschaften individuell sind, so unterscheiden sie sich auch in ihrer Konstitution und ihren Körpermaßen.

Ein ergonomisch unzureichend gestalteter Arbeitsplatz kann die Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten bei der Arbeit beeinträchtigen und damit zu Unfällen oder Beschwerden/Erkrankungen der Beschäftigten und somit zu Ausfallzeiten führen. Dies kann unter Umständen auch eine Unterbrechung der Produktion zur Folge haben. Nicht ergonomisch gestaltete Arbeitsplätze können aber auch dazu führen, dass unnötige Bewegungen oder unnötige Tätigkeiten (Suchen von Bauteilen, Material, Stellteilen, Informationen) ausgeführt werden. Neben dem Zeitverlust kann dies auch zu erhöhten psychischen Belastungen bei den Beschäftigten führen. Ein Aspekt hierbei ist es beispielsweise, die Informationsdarstellungen auf Bedienoberflächen von Maschinen den Bedürfnissen des voraussichtlichen Bedieners anzupassen. Insbesondere unter Berücksichtigung des demografischen Wandels gewinnt dieser Aspekt zunehmend an Bedeutung. So ist beispielsweise seit längerem bekannt, dass die visuelle Wahrnehmung mit dem Alter nachlässt [vgl. z. B. SAUP, 1993]. Darum ist es besonders wichtig, bei der Produktgestaltung die Fähigkeiten auch älterer Beschäftigter zu berücksichtigen. Dies kommt in der Regel auch den jüngeren Menschen zu gute.

2.5.1 Ergonomische Gestaltung von CNC-Maschinen und -steuerungen

Bei der Gestaltung von Arbeitssystemen, besonders bei der Konstruktion von Werkzeugmaschinen, sollten die menschlichen Fähigkeiten, Fertigkeiten und Bedürfnisse berücksichtigt werden. Somit umfasst ein Arbeitssystem den Menschen (in diesem konkreten Fall, den Maschinenführer) und Arbeitsmittel (CNC-Werkzeugmaschine, einschließlich Hardware und Software, Werkzeuge, Werkstücke etc.) innerhalb einer bestimmten Umgebung und bei deren Zusammenwirkung (Mensch-Maschine-Interaktion) innerhalb einer Arbeitsorganisation (Abb. 2.1). Die Komplexität und die Eigenschaften von Arbeitssystemen sind sehr unterschiedlich. Menschliche Handlungen in der Mensch-Maschine-Interaktion können zu Fehlentscheidungen im System führen. Als Ursache hierzu wird häufig der menschliche Faktor benannt. Diese werden aufgrund eines objektiven Fehlers, fehlender oder falscher Verarbeitung vorhandener Informationen begangen [JOHANNSEN, 1993]. Diese Fehler sind nicht vollständig vermeidbar, jedoch kann diesen durch ein intuitiv und ergonomisch gestaltetes System frühzeitig begegnet werden.

DIN EN ISO 6385 [2004] definiert das Arbeitssystem als *„System, welches das Zusammenwirken eines einzelnen oder mehrerer Arbeitender/Benutzer mit den Arbeitsmitteln umfasst, um die Funktion des Systems innerhalb des Arbeitsraumes und der Arbeitsumgebung unter den durch die Arbeitsaufgaben vorgegebenen Bedingungen zu*

erfüllen“. Dabei wird der Mensch in den Mittelpunkt gestellt. Für eine optimale Gestaltung des Arbeitssystems sollen die Beschäftigten mit ihren Arbeitserfahrungen in den Gestaltungsprozess mit einbezogen werden. Menschengerecht gestaltete Arbeitssysteme können zu Arbeitserleichterungen und zu einer höheren Arbeitsleistung führen, da menschliche Fähigkeiten besser genutzt, Arbeitshandlungen effektiver ausgeführt werden und sich die Arbeitsermüdung verringern lässt [RÖBKE, 1989].

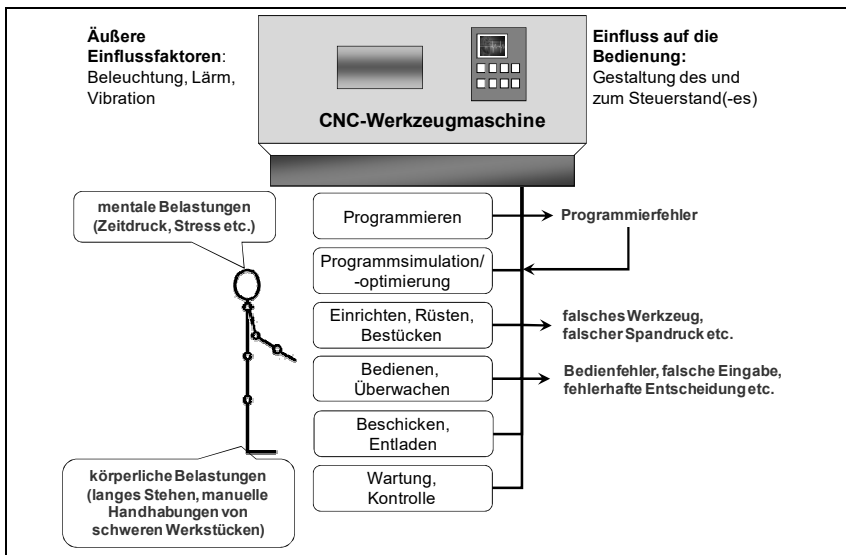


Abb. 2.1: Werkzeugmaschine als Element eines Arbeitssystems

Das Hauptziel der ergonomischen Arbeitsplatzgestaltung ist die Anpassung der Arbeit an den Menschen [REFA, 1991], um Arbeitsbelastungen und -beanspruchungen bei der Arbeit an CNC-Werkzeugmaschinen zu senken und dadurch die Arbeitsqualität und Produktivität zu optimieren.

2.5.2 Technische Aspekte der menschengerechten Arbeitsgestaltung

Die Auswahl der Arbeitsmittel, die sich je nach Art des CNC-Arbeitsplatzes hinsichtlich des Fertigungsverfahrens, der Maschinenart und der CNC-Steuerung unterscheiden können, hat einen entscheidenden Einfluss auf die Arbeitsbedingungen. Die an den Werkzeugmaschinen verwendeten CNC-Steuerungen unterscheiden sich sowohl in ihren Funktionalitäten als auch in ihrer ergonomischen Gestaltung der Bedienoberfläche teilweise deutlich.

Dabei werden Informationen im Regelfall durch haptische Betätigung von Stellteilen des Bedienfeldes in die Steuerung eingegeben und von dem Anzeigegerät *visuell* wahrnehmbar ausgegeben.

In der Regel werden zur Betätigung von CNC-Maschinen als Schnittstelle zwischen Maschinenführer und der Maschine Bedienoberflächen eingesetzt, welche eine unmittelbare

Aktivierung von Maschinenfunktionen erlauben. Die Bedienung selbst erfolgt durch die Betätigung von verschiedenen Bedienelementen, wie z. B. Stellteilen auf dem Bedienfeld oder Merkmalen auf dem Touchscreen.



Abb. 2.2: Softkeys im Vergleich am Beispiel einer Oberfläche (Siemens 810 D für CNC-Drehmaschine TC65) bei der Ausführung unterschiedlicher Arbeitsaufgaben

Abb. 2.2 und Abb. 2.3 (Tastenblock 1) zeigen exemplarisch häufig verwendete Gestaltungsweisen von Bedienoberflächen. Die Bedienung erfolgt anhand von kontextabhängigen Tasten. Diese sind üblicherweise Softkeys, welche je nach Kontext auf dem Bildschirm eine andere Funktion haben können. Kontextabhängige Tasten werden oft auf Steuerungen mit umfangreichen Funktionen eingesetzt [VDI/VE 3850-2 2002], um das Bedienfeld einfacher zu gestalten und gleichzeitig eine Vielzahl an Funktionen zu ermöglichen.

Eine andere Möglichkeit der Gestaltung von Bedienelementen ist die Verwendung von kontextunabhängigen Tasten. Anders als bei kontextabhängigen Tasten ist hierbei jede Taste mit nur einer bestimmten Funktion belegt. Ein Beispiel hierfür ist die alphanumerische Tastatur, wie sie in Abb. 2.3, Tastenblock 4 zu sehen ist. ROSE et al. [1999] beschreiben die Doppelbelegung von Tasten auf alphanumerischen Tastaturen als nachteilig, weil sie in ihren Untersuchungen bei der Bedienung der CNC-Maschine häufiger Fehler feststellten.



Abb. 2.3: Oberfläche Siemens 810 D für eine CNC-Drehmaschine:
1 – kontextabhängige Tasten (Softkeys);
2 – dialogspezifische Tasten;
3 – maschinenspezifische Tasten;
4 – alphanumerische Tasten.

In dem hier abgebildeten Beispiel können die Funktionstasten in maschinenspezifische (Abb. 2.3, Tastenblock 3) und dialogspezifische (Abb. 2.3, Tastenblock 2) Funktionstasten unterteilt werden [siehe hierzu auch VDI/VDE 3850-2 2002]. Maschinenspezifische Funktionstasten lösen Funktionen an der Maschine aus, wie z. B. die Einstellung der Geschwindigkeit der Spindeln. Dialogspezifische Funktionstasten unterstützen den Bediener bei der Navigation durch den Dialog und lassen bei Betätigung bestimmte Informationen auf dem Bildschirm erscheinen [VDI/VDE 3850-2 2002]. Während die Bedeutung der Softkeys von der Bildschirmoberfläche abgelesen werden kann, muss die Bedeutung von maschinenspezifischen Funktionstasten intuitiv verstanden und/oder auswendig gelernt werden. Die Bedeutung von Funktionstasten wird in unterschiedlichen nationalen und internationalen Standards festgelegt. Ergebnisse aus Untersuchungen von ZÜHLKE et al. [1998] zeigen jedoch, dass z. B. die in Deutschland genormten Zeichen in vielen anderen Kulturkreisen, wie z. B. den asiatischen oder südamerikanischen Ländern, falsch verstanden werden. Dies betraf insbesondere abstrakte, maschinen- oder steuerungsspezifische Zeichen, welche im Regelfall aus dem täglichen Leben nicht bekannt sind.

2.5.3 Personen-bezogene Aspekte der menschengerechten Arbeitsgestaltung

Seit Anfang der 1980er Jahre wird viel über die Folgen der Einführung der CNC-Technik im industriellen Umfeld diskutiert. Einige Wissenschaftler sahen bei der Einführung von CNC-Werkzeugmaschinen eine Möglichkeit der professionellen Qualifikationssteigerung, andere sprachen sich dagegen aus. Die weit verbreitete Annahme, dass durch den Einsatz der CNC-Technik der Bedarf an qualifizierten Fachkräften in der Produktion verringert werden könnte, hat sich nicht bestätigt [BÖHLE & ROSE, 1993]. Die Entwicklung der CNC-Technik in dieser Zeit erfolgte so rasant, dass das Erfahrungs- und Fachwissen der Maschinenführer schnell nicht mehr aktuell war.

Die Untersuchungen in Rahmen des Projektes CeA – Computergestützte erfahrungsbegleitete Arbeit – zeigten, dass das intelligente Nutzen der Mitarbeitererfahrungen in den Betrieben einen „(...) *betriebswirtschaftlich bedeutsamen Leistungsfaktor* (...)“ darstellt [vgl. BÖHLE & ROSE, 1993; ROSE, 1995]. Auch heute, in der Zeit der demographischen Wandels, ist dieses Thema hoch aktuell.

Die Arbeit an modernen CNC-Werkzeugmaschinen erfordert von den Mitarbeitern im Betrieb nicht nur deren – in vielen Jahren aufgebautes – Erfahrungswissen in technologischen Prozessen, sondern auch das ständige Erlernen von neuen Technologien. Am Anfang der Entwicklung der CNC-Technik, wo die Benutzerschnittstellen in ihrer Entwicklung noch unreif waren, standen insbesondere „lernungewohnte“ ältere Mitarbeiter vor erheblichen Problemen, was sogar teilweise zum Arbeitsplatzverlust führte [SCHREIBER & KUHN, 1995]. Die aktuelle Situation, insbesondere bei der weitgehenden „Umrüstung“ auf Lean-Produktion verlangt häufig, dass jeder Maschinenführer eine effektive und effiziente Arbeit mit der Maschine in jeder Phase des Fertigungsprozesses (von Programmieren bis zu Kontrollieren) durchführen können sollte.

Während noch in den 1970er und 1980er Jahren die Arbeit an konventionellen Werkzeugmaschinen häufig durch ungelernte oder gering qualifizierte Arbeiter erfolgte, setzt die Bedienung von modernen CNC-Werkzeugmaschinen in der Regel eine abgeschlossene Berufsausbildung⁴ voraus. Für die Arbeit mit CNC-Maschinen sind heute hochqualifizierte Facharbeiter notwendig, die auch über ein umfangreiches Erfahrungswissen z. B. für die Optimierung von Programmen verfügen müssen [FAILMEZGER et al., 1989; MARTIN & ROSE, 1992]. Anforderungen an den Auszubildenden zum Industriemechaniker sind in Abb. 2.4 beschrieben. Die moderne Arbeit an CNC-Maschinen erfordert hochqualifizierte Maschinenführer.

■ Worauf kommt es an?

- Vor allem **Sorgfalt** ist in diesem Beruf wichtig, z.B. beim Auswerten technischer Unterlagen, beim Warten und Instandsetzen von Maschinen und beim Durchführen von Qualitätskontrollen.
- Kenntnisse in **Mathematik** sollten vorhanden sein, da man z.B. Werte aus Tabellen umrechnet oder Längenmaße, Winkel oder Volumina für die Herstellung von Ersatzteilen berechnet. Wissen aus der **Physik** ist wichtig, um mit den unterschiedlichen Maschinen und Fertigungsanlagen umzugehen und die notwendigen Grundlagen der Elektro- und Steuerungstechnik zu verstehen. **Informatikkenntnisse** erleichtern den Einstieg in die Arbeit mit computergesteuerten Maschinen.

Abb. 2.4: Anforderungen an Bewerber für Ausbildung zum Industriemechaniker⁵

⁴ Die Berufsausbildung zur qualifizierten CNC-Fachkraft, wie z. B. dem Zerspanungs- oder Industriemechaniker dauert i.d.R. 3,5 Jahre. Er ist ein anerkannter Ausbildungsberuf, der nach Berufsbildungsgesetz geregelt ist (mehr dazu unter <http://www.bmbf.de/pub/berufsbildungsgesetz.pdf>).

⁵ Ein Ausschnitt aus dem Steckbrief für die Ausbildung zum Industriemechaniker. Online verfügbar unter <http://berufenet.arbeitsagentur.de>, geprüft am 10.08.2015.

Es sind nicht nur Kenntnisse in Mathematik, Physik und/oder technischem Zeichen erforderlich, wie es bei der Bedienung konventioneller Werkzeugmaschinen auch schon notwendig war, sondern immer mehr rücken auch gute Informatikkenntnisse in den Vordergrund (vgl. auf Abb. 2.4). Im Jahr 2012 war die Ausbildung zum Industriemechaniker der am zweithäufigsten ausgewählte Beruf unter den männlichen Ausbildungssuchenden [Berufsbildungsbericht, 2013].

Viele Schäden an CNC-Maschinen, an deren Werkzeugen und/oder an den damit bearbeiteten Werkstücken werden häufig dem leichtfertigen Verhalten der Beschäftigten zugeschrieben. Allerdings führen die meisten Fehler auf fehlende oder mangelhafte Schulungen zurück [NEUMANN, 2002]. Wie die Untersuchung von SCHULZE et al. [1999] zeigt, können nur durch Wissen und berufliche Erfahrung kritische Situationen in der Produktion frühzeitig erkannt und bewältigt werden.

Viele Autoren beschäftigten sich in ihren Untersuchungen u. a. mit der Frage der Qualifikation bei der Umstellung von konventionellen zu computerunterstützten Werkzeugmaschinen. Die Qualifikation der Arbeiter wird oft aus technischer Sicht betrachtet, wie z. B. Einarbeitung, Sicherstellung des Produktionsflusses, Organisation des Programmierprozesses [vgl. z. B. FRÖHLICH & HILD, 1991; VOLLMER, 1995]. Einige Wissenschaftler untersuchten die CNC-Werkzeugmaschinen auch aus sozialwissenschaftlicher Sicht [vgl. z. B. BÖHLE & MILKAU, 1987, 1988]. In diesen Arbeiten wird vielmehr die „sinnliche Verbindung“ mit der Maschine in den Vordergrund gestellt. Aus Sicht der Maschinenführer, die vorher bereits konventionelle Werkzeugmaschinen bedient hatten, wurde an den CNC-Maschinen häufig bemängelt, dass sie die Maschine „nicht mehr so gut fühlen können“, wie es bei der Bedienung der konventionellen Werkzeugmaschinen der Fall war.

2.6 Stand der Technik von CNC-Maschinensteuerständen

Die rasante Verbreitung von CNC-Werkzeugmaschinen in den 1970er Jahren war u. a. auf die Entwicklung des Programmierspeichers zurückzuführen. Während es früher, z. B. beim Abschalten der Stromversorgung, häufig zu Datenverlusten kam, wurde dies bei Maschinen mit Programmierspeicher verhindert [LIEBERWIRTH, 1988].

Die Eingabe von Programmen an einer CNC-Werkzeugmaschine kann entweder direkt in der Werkstatt oder von einem Büro aus (Abb. 2.5) erfolgen. Für komplexe Werkstücke werden Programme typischerweise in einem Büro manuell im Datenformat der jeweiligen Steuerung oder mit Hilfe von Programmiersystemen eingegeben und später auf die Maschine übertragen [REFA, 1991].

Die Programmierung einer CNC-Maschine kann auf unterschiedliche Arten erfolgen. Eine Möglichkeit ist das so genannte DIN/ISO Programmierverfahren. Dieses ist in DIN 66025 Teil 1 [1983] und Teil 2 [1988] festgelegt. Das Programm besteht in der Regel aus dem Zeichen „Programmianfang“, einer Folge von Sätzen und dem Zeichen „Programmende“. Befehle im Programm werden durch alphanumerische Programmnamen gekennzeichnet und in einer fest definierten Reihenfolge aufgeschrieben. Häufig angewendete Programmabläufe, wie z. B. Dreh, Bohr- oder Fräszyklen, können als Unterprogramme abrufbar sein [KIEF &

ROSCHIWAL, 2009]. In der Praxis tritt die aufwendige DIN-Programmierung allerdings vermehrt in den Hintergrund.



Abb. 2.5: Ein Beispiel eines Programmierplatzes iTNC von Heidenhain⁶

Besonders in kleinen und mittleren Unternehmen spielt die werkstatorientierte Programmierung (WOP) eine wichtige Rolle (Abb. 2.6).

Dieses Programmierverfahren funktioniert maschinengebunden mit technologischer und geometrischer Grafikerunterstützung. Mit der Entwicklung von WOP wurde die Programmeingabe erleichtert, da die graphisch-interaktive Geometrieingabe den Anwender unterstützt. Dies erlaubt es beispielsweise, bestimmte Konturelemente aus dem graphisch dargestellten Angebot der vorhandenen Steuerungssoftware auszuwählen und diese beliebig zu kombinieren.

Das eigentliche CNC-Programm wird im Anschluss an die graphisch-interaktive Eingabe automatisch durch die Steuerung generiert [VOLLMER, 1995]. Durch eine anschließende Programmsimulation können mögliche Fehler aufgedeckt und sofort vor Ort korrigiert werden. WOP eignet sich insbesondere für kleine und mittlere Unternehmen und eher geringen Losgrößen mit weniger komplexen Geometrien [LIEBEWIRTH, 1988].

⁶ Bild entnommen aus der Broschüre "Programmierplätze für TNC-Steuerungen" (online verfügbar unter http://www.heidenhain.de/fileadmin/pdb/media/img/825930-14_Programmierplaetze_fuer_TNC-Steuerungen.pdf, zuletzt geprüft 10.08.2015) mit freundlicher Genehmigung der TRUMPF Gruppe.

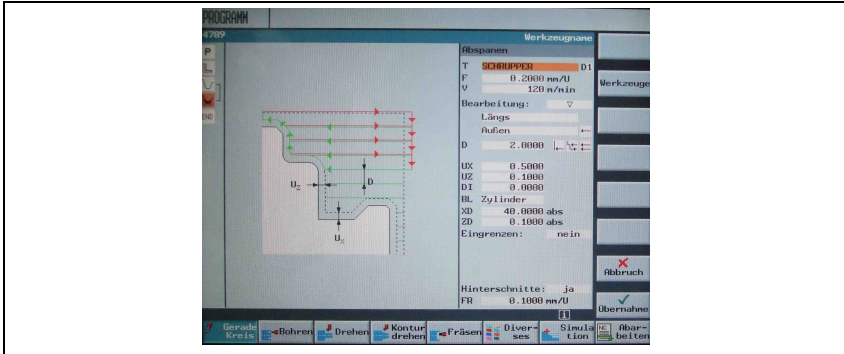


Abb. 2.6: Werkstattorientierte Programmierung mit der Oberfläche „Shop Turn“ von Siemens

Die Hersteller von CNC-Steuerungen haben häufig unterschiedliche Standards bei der Gestaltung von Steuerungsoberflächen. Dies hängt zum einen mit den unterschiedlichen Bearbeitungsverfahren zusammen, welche sehr spezifisch sind und sich nicht standardisieren lassen [KIEF & ROSCHIWAL, 2009]. Zum anderen bleiben Hersteller gerne bei ihrem eigenen Design, so dass Bedienoberflächen verschiedener Hersteller, obwohl vergleichbare Funktionen angeboten werden, oft sehr unterschiedlich aussehen können (vgl. Abb. 2.6 und Abb. 2.7).

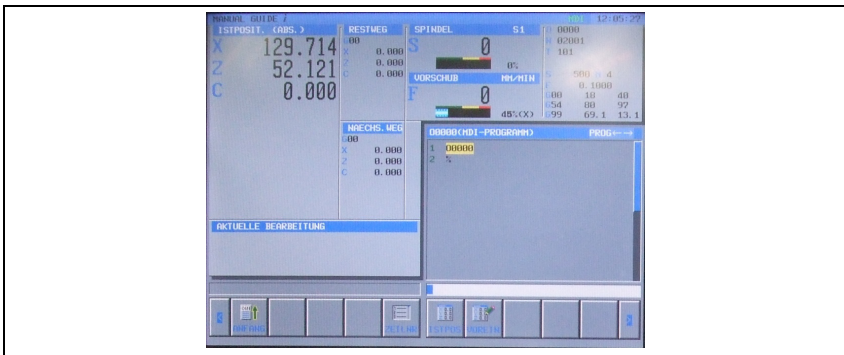


Abb. 2.7: Beispiel für eine werkstattorientierte Programmierung: Oberfläche „Manuel Guide“ von Fanuc

2.6.1 Der Markt mit CNC-Steuerungen

Die weltweit führenden Hersteller moderner CNC-Werkzeugmaschinen kommen aus Deutschland, Japan und den USA. Nur einige große Steuerungshersteller sind weltweit vertreten. Es gibt viele kleine Hersteller, die jedoch häufig nur regionale Bedeutung aufweisen. Abb. 2.8 zeigt eine Auswahl von Systemen, die die Vielfalt der

Steuerungssysteme erkennbar macht und beispielsweise von ihrer Informationsanordnung bzw. -gestaltung kaum vergleichbar sind.

Die zahlreichen unterschiedlichen Steuerungssysteme bereiten nicht nur Auszubildenden sondern auch erfahrenen Maschinenführern Schwierigkeiten beim Erlernen neuer Systeme. Lernprozesse verringern die Effizienz eines Systems so lange, bis der Lernprozess endgültig abgeschlossen ist. Je höher der Innovationsgrad ist, desto höher ist in der Regel auch der Lernaufwand durch den Nutzer und desto höher ist auch der zeitliche Verlust und desto geringer ist häufig auch die Effizienz des Gesamtsystems.



Abb. 2.8: Unterschiedliche Ausführungen von CNC-Bedienpulten

Aus ergonomischer Sicht empfehlenswert ist daher der Einsatz von CNC-Maschinen in einem Betrieb, die mit Steuerungen der gleichen Art ausgerüstet sind. Die Realität sieht allerdings anders aus. So kommt es nicht selten vor, dass nebeneinander stehende gleiche Drehmaschinen mit unterschiedlichen Steuerungen ausgestattet sind [VOLLMER, 1995]. Je größer die Unterschiede zwischen einer alten (eingearbeiteten) und einer neuen (innovativen) Steuerungsoberfläche sind, desto länger dauert die Lernphase an. Wie Untersuchungen von SCHULZE et al. [1999] zeigen, haben viele neu anzulernende Mitarbeiter Schwierigkeiten beim Erlernen von neuen Steuerungen.

Sie beobachteten bei den Anwendern, dass es hierbei häufig zu mühsamen Suchprozessen kam und die Anwender teilweise sehr umständliche Wege durch die Menüstruktur wählten. Somit kam es teilweise zu erheblichen Verzögerungen des Produktionsprozesses. Unterschiedlich gestaltete Interaktionssysteme und Menüs erschweren generell die Übertragung von Erfahrungen.

2.6.2 Studienübersicht zur Entwicklung der Benutzeroberflächen von CNC-Maschinen

Auf einem europäischen Forschungsprojekt basierend wurde Anfang der 1990er Jahre das Projekt OSACA (**O**pen **S**ystem **A**rchitecture for **C**ontrols within **A**utomation **S**ystems) gestartet, welches sich zunächst mit den Grundlagen der herstellerübergreifenden Steuerungsarchitektur befasste. Auf den Ergebnissen aus diesem Projekt aufbauend, wurde ein weiteres Projekt HÜMNOS (**H**ersteller**Ü**bergreifende **M**odule für den **N**utzerorientierten Einsatz der **O**ffenen **S**teuerungsarchitektur) begonnen. Dies ist eine der wenigen Untersuchungen, die sich der allgemeinen Gestaltung der Benutzungsoberflächen von Maschinensteuerungen widmete. Einige, auch in dieser Arbeit genannte Maschinen- und Steuerungshersteller wurden in das Projekt integriert. Als Ergebnis des HÜMNOS-Projektes wurde ein Style-Guide entwickelt [HÜMNOS, 1997], welcher die Gestaltung der Bediensysteme von CNC-Maschinensteuerungen zu vereinheitlichen versuchte (siehe Abb. 2.9). Dieser Style-Guide gibt Hinweise zu einer ergonomischen und einheitlichen Gestaltung, so dass Einarbeitungszeiten und auch Schulungskosten reduziert und die Produktionszeiten effizient erhöht werden können.

LAUSTERER et al. [2003] analysierten eine Bedienoberfläche, welche die komplexen Fertigungsabläufe an Biegemaschinen mit einer intuitiv bedienbaren Steuerung unterstützt. Ziel dieser Studie war die Ableitung einer intuitiv bedienbaren, leicht individualisierbaren und einfach erlernbaren Bedienoberfläche, die zudem auch die Abbildung von typischen Arbeitsabläufen der Werkzeugmaschine beinhalten soll.



Abb. 2.9: Ein Beispiel zur Umsetzung des Style-Guides für die Bedienoberfläche einer CNC-Fräsmaschine⁷

Die so entstandene Oberfläche (siehe dazu Abb. 2.10) könnte beim Programmieren nicht nur erfahrenen Bedienern eine effektive und effiziente Bedienung gewährleisten, sondern auch Einsteiger beim Erlernen unterstützen. Der Touchscreen-unterstützte Bildschirm erleichtert dem Maschinenführer die Eingabe von Programmen oder die Auswahl von Werkzeugen mit Kontextschaltflächen.

Die Steuerung kann sowohl über einen Touchscreen als auch über eine industrietaugliche Tastatur bedient werden. Unterstützt wird dies mit einer zusätzlichen Stehkonsole, wo integrierte Pedale bei der Bedienung von Maschinen unterstützen können (Abb. 2.11).



Abb. 2.10: Touchscreen WOP-Oberfläche TruTops Bend einer TRUMPF Biegemaschine⁸

⁷ Bild entnommen aus Rose & Schulze [1999] mit freundlicher Genehmigung des Campus-Verlags.

Die ergonomische Gestaltung von Bedienoberflächen hat sich auf Maschinen in verschiedenen industriellen Bereichen verbreitet. So wurde in den Untersuchungen von HOFMANN & HOLZKÄMPER [2008] ein transparentes System für Füllmaschinen der Firma SIG entwickelt. Das Projektteam hat sich dabei auf die Weiterentwicklung einer Touchscreen-unterstützten Oberfläche konzentriert, welche dem internationalen Gestaltungskontext entspricht, so dass außer der Einstellung der Landessprache keine kultur- bzw. sprachspezifischen Einstellungen und Ausführungen notwendig sind.



Abb. 2.11: Unterstützung durch eine Konsole mit wichtigen, u. a. fußbetätigten Bedienelementen an der Biegemaschine TruBend 5000

Das System hat sich in der Praxis bewährt und erlaubt zudem ein effektives und schnelles Durchführen von täglichen Arbeitsschritten. Auch die Untersuchungen von KOLLER & NEUBAUER [2008] beschäftigen sich mit der Gestaltung einer ganz neuen Benutzeroberfläche für die Firma Schäfer Werkzeug- und Sondermaschinenbau. Es wurde dabei nicht nur die ergonomische Gestaltung der Benutzeroberfläche betrachtet, sondern auch auf eine angemessene interkulturelle Gestaltung geachtet. Hierzu wurden auch internationale Niederlassungen herangezogen, um regionale Besonderheiten im Designkonzept einzubringen.

Die oben beschriebenen Entwicklungen im Bereich der Oberflächengestaltung zeigten, dass immer mehr Hersteller in verschiedenen industriellen Bereichen die Bedeutung der intuitiven und somit ergonomischen Bedienung von Maschinen erkannt haben. Je nachdem, wo die Schwerpunkte des Unternehmens liegen, wird nach verschiedenen Prinzipien gehandelt. Die Prinzipien der Einfachheit und der Übersichtlichkeit der Bedienung wird dabei weitestgehend überall integriert.

⁸ Bild entnommen aus der Broschüre "Produktinformation zu Biegemaschinen Trumpf TruBend Serie 5000" (online verfügbar unter http://www.primatech.at/uploads/media/TruBend_Serie_5000_01.pdf, zuletzt geprüft 10.08.2015) mit freundlicher Genehmigung der TRUMPF Gruppe.

2.7 Empfehlungen zur Maschinengestaltung

2.7.1 Existierende generelle Empfehlungen zur Maschinengestaltung

Ein wesentlicher Aspekt von Regelwerken zur Maschinengestaltung besteht darin, sichere und ergonomisch gestaltete Maschinen nicht nur in Deutschland sondern auch auf europäischer und internationaler Ebene zu entwickeln. Es besteht eine Vielzahl von deutschen (DIN), europäischen (EN) und internationalen (ISO) harmonisierten Normen, die sich mit der sicheren und ergonomischen Gestaltung von Werkzeugmaschinen beschäftigen. Die Gestaltung aller technischen Systeme, darunter auch moderne computergesteuerte Werkzeugmaschinen, stellt den Mensch (Bediener, Anwender) in den Vordergrund und berücksichtigt seine Fähigkeiten und Fertigkeiten.

In den Jahren 1999/2000 wurde ein softwarebasierter ErgoCheck [RÖSE, 2000] entwickelt, der Maschinenentwicklern eine praktische Hilfestellung bei der Umsetzung der VDI/VDE 3850 liefern soll. Dieser wurde jedoch nach einer Neufassung der VDI/VDE 3850 nicht angepasst. Im Jahr 2010 wurde durch das Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV) in zweiter Auflage eine Checkliste⁹ herausgegeben, die sich mit der Maschinenergonomie in der Produktion beschäftigt: *„Eine verbesserte Maschinenergonomie könnte die Unfallzahlen senken und arbeitsbedingte Belastungen der Arbeitsnehmer reduzieren“* [SiBe-Report, 2006].

Die entwickelte Checkliste enthält wesentliche Aspekte der Ergonomie und wurde aus rund 30 Einzelnormen zusammengestellt. Der Gestaltung von Arbeitssystemen wird hierbei große Aufmerksamkeit gewidmet. Ein Arbeitssystem ist ein System, *„(...) welches das Zusammenwirken eines einzelnen oder mehrerer Arbeitender/Benutzer mit den Arbeitsmitteln umfasst, um die Funktion des Systems innerhalb des Arbeitsraumes und der Arbeitsumgebung unter den durch die Arbeitsaufgaben vorgegebenen Bedingungen zu erfüllen“* [vgl. Definition 2.16 DIN EN ISO 6385]. In dem Fall des Industriebereiches sind die Benutzer – Maschinenführer; Arbeitsmittel – im Sinne der Betriebssicherheitsverordnung [vgl. §2(1) der Betriebssicherheitsverordnung] – Werkzeuge, Geräte und Maschinen. Die Arbeitsaufgaben an einer CNC-Maschine beschränken sich auf gelegentliches Programmieren bzw. Programmoptimierung, Einrichten, Rüsten, Überwachen und Entladen der Werkzeugmaschine.

Für die Gestaltung jedes Elementes des Arbeitssystems gibt das Regelwerk bestimmte Anforderungen vor. Zudem muss der Konstrukteur in dem Gestaltungsprozess die allgemeinen Regeln – wie z. B. die Berücksichtigung sowohl von persönlichen als auch von technischen Aspekten; Anwendung von Methoden, welche die Wechselwirkung zwischen dem Operateur und der Maschine in Betracht ziehen u. ä. – berücksichtigen [vgl. Abschnitt 4.2, DIN EN 614 Teil 2]. Auch Sicherheit und Ergonomie spielen bei der Gestaltung von Produkten unterschiedlicher Art eine führende Rolle.

⁹ Siehe dazu DGUV Information 209-068 (bisher: BGI/GUV-I 5048-1) und DGUV Information 209-069 (bisher: BGI/GUV-I 5048-2), online verfügbar unter <http://www.dguv.de/ifa/Praxishilfen/Praxishilfen-Maschinenschutz/Checkliste-Maschinenergonomie/index.jsp>. Zuletzt geprüft am 10.08.2015.

Im Arbeitsschutzgesetz ist geregelt, dass die Gefährdungen für Gesundheit und Sicherheit der Beschäftigten am Arbeitsplatz zu minimieren sind und die Arbeitsbedingungen dabei sicher und gesundheitsgerecht zu gestalten und ggfs. zu verbessern sind [vgl. §1 (1) des Arbeitsschutzgesetzes]. Laut Arbeitsschutzgesetz [vgl. §5 (3) des Arbeitsschutzgesetzes] kann sich eine Gefährdung insbesondere durch *„die Gestaltung und die Einrichtung (...) des Arbeitsplatzes; (...) die Gestaltung, die Auswahl und den Einsatz von Arbeitsmitteln, insbesondere von (...) Maschinen, Geräten und Anlagen sowie den Umgang damit (...)“* ergeben.

Auch ökonomische Aspekte hängen davon ab, ob der Aspekt der Sicherheit bei Konstruktion und Bau wie auch bei Installation und Wartung von Maschinen berücksichtigt wurde. Dies lässt nach der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG Absatz 2 *„(...) die sozialen Kosten der durch den Umgang mit Maschinen unmittelbar hervorgerufenen zahlreichen Unfälle verringern (...)“*. Außerdem legt DIN EN 1005 Teil 3 fest, dass *„(...) dem Benutzer die volle Kontrolle seines Arbeitstempos (...)“* ermöglicht sein sollte, um damit mögliche psychomentele Belastungen, z. B. durch Zeitdruck, auszuschließen.

Ergonomische Gestaltungsgrundsätze werden in der Europäischen Norm DIN EN 614 [vgl. Abschnitt 5, Teil 1] geregelt, die Konstrukteure in das Pflichtenheft aufnehmen können. In den Gestaltungsprozess sollen die Erfahrungen des Bedienpersonals, der Gesundheits- und Arbeitsschutzbeauftragten sowie von Ergonomie-Experten einbezogen werden. Somit wird die Produktergonomie zu einem sehr wichtigen Handlungsbereich in der Produktgestaltung. Auch die Maschinenrichtlinie befasst sich intensiv mit der Ergonomie der Bedienplätze und Steuerungselemente. Danach *„(...) müssen Belästigung, Ermüdung sowie körperliche und psychische Fehlbeanspruchungen (...)“* [vgl. Maschinenrichtlinie 2006/42/EG, Anhang 1, Artikel 1.1.6] unter Berücksichtigung ergonomischer Prinzipien noch im Gestaltungsprozess reduziert werden. Hierzu gehören die Möglichkeiten der Anpassung an unterschiedliche Körpermaße, Körperkräfte und Ausdauer der Beschäftigten.

2.7.2 Generelle Empfehlungen zur Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle

Eine wichtige Aufgabe, die bei der Konstruktion von modernen Systemen besteht, ist die Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle und deren Elemente. Diese sollen so gestaltet und angeordnet werden, dass *„(...) eine klare und eindeutige Interaktion von der Bedienperson und der Maschine möglich ist.“* [vgl. Abschnitt 4.1 DIN EN 614 Teil 1]. Wichtig dabei ist, dass die Bedienelemente *„(...) deutlich sichtbar und erkennbar sein sollen und, wenn geeignet, Piktogramme verwendet werden“* [vgl. Maschinenrichtlinie 2006/42/EG, Anhang 1, Artikel 1.2.2]. Für die Beschriftung der (Bedien-)Elemente an Werkzeugmaschinen wurden eine Reihe von Piktogrammen entwickelt. Piktogramme sollten einheitlich sein und im Einklang mit der DIN ISO 7000 [2008], der ISO 2972 [1979] wie auch mit der interaktiven Datenbank IEC 60417 stehen.

Maschinensteuerstände sind Träger von vielfältigen Informationen und Informationsdarstellungen, welche der Maschinenführer während seiner Arbeit wahrnehmen soll. Dabei dient die Schnittstelle im Allgemeinen der Entscheidungsfindung, der Informationsübertragung oder der Kommunikation zwischen Mensch und Arbeitsmitteln. Die Hauptbestandteile sind dabei Anzeigegeräte und Bedienelemente, die so gestaltet werden

müssen, dass sie den Eigenschaften des Menschen entsprechen. Nach DIN EN ISO 6385 soll die Darstellung von Informationen „(...) *einen schnellen Überblick ermöglichen*“. Ebenso müssen häufig benutzte Bedienelemente am leichtesten erreichbar sein. Wenn die Anzeigergeräte und/oder Bedienelemente ungünstig an der Maschine angeordnet sind, kann es zu Zwangshaltungen kommen.

Somit müssen bestimmte Maßnahmen zur Reduzierung von belastenden und ungünstigen Körperhaltungen und/oder Körperbewegungen bei der Gestaltung und Anordnung von Bedienfeldern getroffen werden. Nach DIN EN 614 Teil 1, DIN EN ISO 14738, DIN EN ISO 6385 erreicht man dies durch die Berücksichtigung verschiedener Parameter. Dazu gehört insbesondere die Verstellbarkeit der Arbeitshöhe an die Bedienperson. Diese sollte so gewählt werden, dass eine angenehme Körperhaltung eingenommen werden kann und zugleich die visuellen Anforderungen erfüllt sind. Hierzu ist von einem Verstellbereich vom 5. Perzentil Frauen bis 95. Perzentil Männer auszugehen.

Hierdurch ergibt sich eine optimale Arbeitsplattenhöhe von ca. 960-1000 mm und eine maximale Bauhöhe der Konsole von 1500 mm [SCHMIDTKE, 1989; GRANDJEAN, 1991, LANGE & WINDEL, 2003]. Da die Bedienung von CNC-Maschinen überwiegend im Stehen durchgeführt wird und statische Steharbeit sehr ermüdend sein kann, sollten an die Arbeit angepasste Stehhilfen bereitgestellt werden. Diese erlauben einen leichten Wechsel der Stehhaltung und entlasten die Muskulatur durch Aufnahme von bis zu 60% des Körpergewichts. Bei länger andauernden Aufgaben sollte dem Beschäftigten die Möglichkeit gegeben werden, zwischen Sitzen und Stehen zu wechseln [KIRCHNER & BAUM, 1990].

2.7.2.1 Empfehlungen zur haptischen Informationsgestaltung

Zur Unterstützung der Gestaltung der Bedienelemente auf Bedienfeldern werden in VDI/VDE 3850 [vgl. VDI/VDE 3850, Blatt 2, Abschnitt 7] Empfehlungen zur geeigneten Größe und Form von Tasten getroffen. Zu kleine oder zu große Bedienelemente können die Präzision während der Bedienung der Werkzeugmaschine beeinträchtigen. Außerdem sollen die Bewegungsmerkmale aller zu bedienenden Interaktionsgeräte den intuitiven Bewegungen entsprechen [vgl. SCHMIDTKE & RÜHMANN, 1978; KIRCHNER & BAUM, 1990; DIN EN 894 Teil 3, 2010].

Bei der Auswahl von Stellteilen ist es zudem wichtig, diese so zu gestalten und anzuordnen, dass sie den Fähigkeiten (insbesondere den Bewegungsfunktionen) des Körperteils, mit dem sie bedient werden sollen, und der durchzuführenden Aufgabe entsprechen [DIN EN ISO 6385]. Häufig benutzte Bedienelemente sollten so angeordnet werden, dass sie in unmittelbarer Nähe der Bedienperson angeordnet sind. Für die Ermittlung dieses Greifbereiches werden in der Regel die Werte des 5. Perzentils [vgl. DIN EN 614-1] verwendet. Mit den Tabellenwerten des 5. Perzentils der Frau lässt sich die Erreichbarkeit für die wesentlichen Steuerarmaturen, Bedien- und Stellteile ohne körperliche Zwangshaltungen beschreiben [SCHMIDTKE, 1989]. Nach DIN EN 894 Teil 4 sollen Stellteile in den dafür geeigneten Bereichen so angeordnet werden, dass die Anforderungen an die Häufigkeit, die Bedeutung, die Genauigkeit und die Reihenfolge der Betätigungen sowie auch die Arbeitshaltungen des Bedieners und dessen Körpermaße berücksichtigt werden.

Bei der Gestaltung von Bediensystemen sollten weiter die Prinzipien der Kompatibilität, Konsistenz und der Gruppierung berücksichtigt werden [VDI/VDE 3850-1, 2014]. Unter *Kompatibilität* wird die Übereinstimmung der Anordnung in der Realität und der Darstellung im Bediensystem verstanden. Mit *Konsistenz* wird gefordert, dass die Darstellung, die Strukturen, die verwendeten Begriffe und Dialogabläufe einheitlich und widerspruchsfrei sind. Die *Gruppierung* beschreibt die räumliche Anordnung zusammenhängender Elemente. Hierbei sind inhaltliche und funktionale Zusammengehörigkeit, Häufigkeit ebenso wie Reihenfolge der Bedienung der Bedienung zu beachten. Hierzu sagt auch DIN EN ISO 6385, dass die Stellteile, die gleichzeitig oder in schneller Folge benutzt werden, nahe beieinander liegen sollten, um ein korrektes Benutzen zu unterstützen. Eine sinnvolle Anordnung hilft dem Benutzer, sich an die Reihenfolge zu erinnern.

Die für die Beschriftungen verwendeten Symbole und Zeichen sollten in der Zeit der Globalisierung des Weltmarktes kultur- und sprachenunabhängig gestaltet werden, damit sie in jedem Land und von Anwendern jeder Nationalität verstanden werden können. Die seit den 1980er Jahren entstandenen Normen zur standardisierten Darstellung von Bildzeichen auf den Bedienfeldern von NC-Maschinen sollten eine unnötige Vielfalt an Darstellungen verhindern und dies dementsprechend einheitlich für Maschinenhersteller, -anwender und -händler gestalten. Heute gelten hierzu die Normen DIN ISO 7000 [2008], ISO 2972 [1979] und die interaktive Datenbank IEC 60417¹⁰.

2.7.2.2 Empfehlungen zur visuellen Informationsgestaltung

Für einen sicheren Betrieb sollen Maschinen mit notwendigen Anzeigeeinrichtungen ausgestattet sein, die vom Bedienfeld aus einzusehen sind. Eine angemessene Gestaltung von digitalen und analogen Anzeigen, sowie deren Gruppierung ebenso wie die Verhältnisse zwischen Höhe, Breite und Strichstärke der Zeichen unter bestimmten Bedingungen sind in DIN EN 894 Teil 2 und Blatt 1 VDI/VDE 3850 beschrieben.

Die Wahrnehmung von erforderlichen Informationen spielt bei der Interaktion mit dem Arbeitsmittel, wie beispielsweise dem Maschinensteuerstand, eine entscheidende Rolle. Schnelles und möglichst fehlerfreies Ablesen von Informationen vom Bedienfeld führen zu erfolgreicher und sicherer Ausführung von Arbeitsaufgaben. Dabei sind unterschiedliche Fähigkeiten des Maschinenführers, wie z. B. Sehschärfe, Farbsehvermögen und auch die Größe des Gesichts⁻¹¹ und Blick⁻¹² und Umblickfeldes⁻¹³ zu berücksichtigen. Alle wichtigen Informationen sollten im optimalen Bereich des Gesichts- bzw. Blickfeldes liegen [DIN EN ISO 6385].

¹⁰ siehe auch <http://www.iec-normen.de/iec-datenbanken/iec-60417-iso-7000-bildzeichen.html>. Zuletzt geprüft am 10.08.2015.

¹¹ **Das Gesichtsfeld** bezeichnet den Bereich, der ohne Kopf- und Augenbewegungen wahrgenommen werden kann.

¹² **Das Blickfeld** bezeichnet alle Punkte im Raum, die bei ruhendem Kopf und bewegtem Auge fixiert werden können.

¹³ **Das Umblickfeld** bezeichnet alle Punkte, die bei bewegtem Kopf und bewegten Augen fixiert werden können.

Von Bedeutung ist auch die Reihenfolge von dargestellten Informationen, wie z. B. von links nach rechts oder von oben nach unten. Zur optimalen Gestaltung der Zeichengröße und -breite empfiehlt DIN EN 894 Teil 2 eine Zeichenbreite von 60% bis 100% der Zeichengröße je nach Gestaltung der Anzeige [vgl. Abschnitt 4.2.1 in DIN 894 Teil 2].

2.7.2.3 Empfehlungen zur Gestaltung der Arbeitsumgebung

Die Arbeitsumgebung an CNC-Maschinen sollte so gestaltet sein, dass eine menschengerechte Arbeit gewährleistet wird. Hierzu gibt die Arbeitsstättenverordnung vor, dass Arbeitsräume über „(...) eine ausreichende Grundfläche (...)“ verfügen sollen „(...) so dass die Beschäftigten ohne Beeinträchtigung ihrer Sicherheit, ihrer Gesundheit oder ihres Wohlbefindens ihre Arbeit verrichten können“ [vgl. §1.2 (1) der Arbeitsstättenverordnung].

Raum- und/oder Außenbedingungen sind wichtige Einflussgrößen bei der Wahrnehmung von Informationen. Bei falscher Einstellung des Lichtes können Blendungen und/oder Reflexionen auftreten und eine fehlerhafte Erfassung von Informationen hervorrufen. Zudem sind Arbeitsplatzmaße und Sicherheitsabstände zu berücksichtigen so dass der Arbeitsplatz körpergerecht und sicher gestaltet wird [HEEG, 1991]. Für die Gestaltung von Greifweiten sind die anthropometrischen Daten des 5. Perzentil für Frauen zu berücksichtigen. Für Außenmaße, wie z. B. begehbare Maschinenräume, sollen die Werte des 95. Perzentils für Männer verwendet werden, um ausreichende Körperbewegungen zu gewährleisten.

Für Sicherheitsabstände ist – je nach konkreter Anforderung – auch das 1. oder 99. Perzentil zu verwenden, um das sichere Betreiben der Maschine ohne Zugriff auf bewegte Teile sicherzustellen. Außerdem sollte die Gestaltung des Arbeitsplatzes „... dem Operateur ermöglichen, im Laufe des Arbeitstages frei zwischen der sitzenden und stehenden Körperhaltung zu wechseln“ [vgl. Abschnitt 4, DIN EN ISO 14738].



Abb. 2.12 Arbeit an einem CNC-Maschinensteuerstand: Maschinenführer mit unterschiedlicher Körpergröße (l.: 197 cm; r.: 165 cm)

KIRCHNER & BAUM [1990] beschreiben Empfehlungen zur Auslegung des vertikalen Sehraums. Demnach sollte der Kopf möglichst senkrecht oder leicht nach vorne geneigt werden. Bei zu hoch eingebauten Bedienpanelen kann es dazu kommen, dass Personen mit kleineren Körpergrößen den Kopf weit über die horizontale Achse neigen (Abb. 2.12). Bei der Bedienung von CNC-Werkzeugmaschinen kommt es oft während der Bedienungs- und Beobachtungsprozesse zum Wechsel der Sehrichtungen – von Bedienpult zum Fertigungsraum und zurück. Nach DIN EN 1005 [Teil 4] sollte dieser Bereich 35° für beide Richtungen der Sehachse nicht überschreiten.

Auch die Oberarmhaltung sollte z. B. bei Programmier- und Einrichtungstätigkeiten beachtet werden. Dabei gilt nach DIN EN 1005 [Teil 4] der Bereich bis zu 20° als empfehlungswert für die optimale Arbeitsaufgabenerfüllung, von der senkrechten Achse seitlich und nach vorne.

2.8 Zusammenfassung bisheriger Erkenntnisse und Empfehlungen

Die rasanten Entwicklungen der Mikroelektronik brachten große technische und technologische Veränderungen in die Werkstätten der produzierenden Unternehmen.

Manuelle Arbeitsprozesse mit teilweise schwerer körperlicher Arbeit an konventionellen Werkzeugmaschinen wurden durch den Einsatz von schnellen und präzisen computerunterstützten Werkzeugmaschinen deutlich verändert.

Weiterentwicklungen der Mikroelektronik stellen die Anwender von Werkzeugmaschinen jedoch vor neue, andere Herausforderungen. Der Maschinenführer hat heute nur noch einen geringen Einfluss auf den Fertigungsprozess. Die komplexen Prozesse, z. B. bei der Programmierung von CNC-Maschinen führen, zu anderen Aufgaben und einer anderen Arbeitsverteilung. Der Wandel von eher physischen zu eher psychomentalen Belastungen, wie einerseits Monotonie und andererseits auch Stress und Zeitdruck, führen auch zu eher psychischen Beanspruchungen die als Beanspruchungsfolge auch in schlechter Arbeitsleistung münden können [vgl. z. B. BÖHLE & MILKAU, 1987 und 1988; FRÖHLICH & HILD, 1991; MARTIN & ROSE, 1992; VOLLMER, 1995].

Auch wenn schwere körperliche Arbeit seit der Einführung der CNC-Technik eher zurückgegangen ist, zeigen verschiedene Studien [vgl. BÖHLE & MILKAU, 1988; FAILMEZGER et al., 1989; VOLLMER, 1995] nach wie vor noch körperliche Belastungen und auch hiermit verbundene Beschwerden der Beschäftigten auf.

Die ersten Studien zu CNC-Maschinen erfolgten Ende der 1970er Jahre, unmittelbar nach der Einführung der CNC-Technik in den Betrieben und wurden auch in den folgenden Jahrzehnten intensiv betrieben. Es wurden Bereiche der ergonomischen Arbeits(mittel)gestaltung [vgl. HÜMNOS, 1997] u. a. auch unter Berücksichtigung der Erfahrungen von Maschinenanwendern [CeA, vgl. BÖHLE & ROSE, 1993] betrachtet. Daraus wurden Empfehlungen und Gestaltungsmaßnahmen abgeleitet, die auch bis heute gelten und weitgehend auf den Erkenntnissen der Untersuchungen aus den 1980er und 1990er Jahren basieren. Auf der Basis dieser Regelwerke wurden verschiedene Instrumente zur Beurteilung von Bedienfeldern [z. B. ErgoCheck, vgl. RÖSE, 2000] und CNC-Maschinenarbeitsplätzen [BGI/GUV-I 5048, 2010] entwickelt.

Die Entwicklungen in den letzten Jahren im Bereich der Evaluationsmethoden zur Gebrauchstauglichkeit stellen neue Möglichkeiten zu weiteren Untersuchungen auch an CNC-Maschinen dar, wie z. B. Untersuchungen der Performance unter Einsatz von sogenannten Eye-Tracking-Systemen. Die Berücksichtigung neuer Daten und Evaluierungsmethoden bei der Arbeitsgestaltung moderner Arbeitsplätze kann daher von großer Bedeutung sein.

2.9 Ableitung der Ziele und Fragestellungen für diese Arbeit

Die bisher beschriebenen Erkenntnisse weisen darauf hin, dass bereits einige Empfehlungen zur ergonomischen Gestaltung von CNC-Arbeitsplätzen vorliegen, jedoch noch Defizite existieren. Um konkrete Ansätze für eine hypothesengeleitete Vorgehensweise zu entwickeln, wurde zunächst im Rahmen der vorliegenden Arbeit eine Pilotstudie durchgeführt (siehe hierzu Abschnitte 3.1 und 4.1). Diese Pilotstudie, die in Form einer Querschnittstudie durchgeführt wurde, untersucht, ob es zu Problemen und/oder Schwierigkeiten während des Erlernens der Bedienung von CNC-Maschinen kommt. Hierzu wurde in Lehrwerkstätten untersucht, wie die Auszubildenden mit unterschiedlichen Hintergründen (Erfahrungsniveau, Erfahrungen mit anderen Bedienfeldern etc.) die Bedienbarkeit der Bedienelemente verschiedener Maschinensteuerstände beurteilen. Dabei wurde auch die allgemeine Arbeitsplatzorganisation betrachtet. In einem Fragebogen wurden zudem Informationen über mögliche Beschwerden oder Erkrankungen des Muskel-Skelett-Systems erfasst. Aus dieser Pilotstudie wurden Arbeitshypothesen (siehe Abschnitt 4.1.7) abgeleitet, die dann in einem weiteren multiplen Studienansatz in 3 Loops näher betrachtet und analysiert werden (siehe Abb. 2.13).

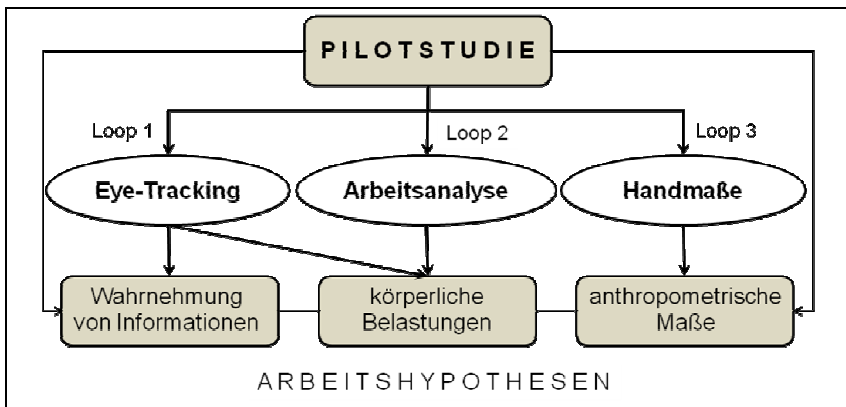


Abb. 2.13: Grafische Darstellung der Struktur und Inhalte dieser Arbeit

In Loop 1 (siehe hierzu Abschnitte 3.2 und 4.2) werden im Rahmen einer Feldstudie verschiedene Aspekte der Performance während der Bedienung unterschiedlicher Maschinensteuerstände betrachtet. Hierbei wird u. a. der Frage nachgegangen, ob die Gestaltung und Anordnung von Informationen auf unterschiedlichen Bedienfeldern deren

Wahrnehmung während der Bedienung der CNC-Maschine unterstützt. Die mittels Eye-Tracker-System erfassten objektiven Daten werden dabei durch subjektive Daten aus einem Fragebogen ergänzt.

Die in Loop 2 (siehe hierzu Abschnitte 3.3 und 4.3) untersuchten Aspekte sollen Fragen zur Körperhaltung während der Arbeit an einer CNC-Maschine, zur Gestaltung der Arbeitsplatzorganisation eines CNC-Maschinenarbeitsplatzes und zur Schwere der Arbeit beantworten. Hierzu werden im Rahmen einer Querschnittstudie in einem Großunternehmen die unterschiedlichen Arbeitstätigkeiten an CNC-Maschinenarbeitsplätzen betrachtet.

In Loop 3 (siehe hierzu Abschnitte 3.4 und 4.4) wird im Rahmen einer weiteren Querschnittstudie untersucht, ob die bestehenden Empfehlungen zur Gestaltung der Elemente von Bedienoberflächen mit den Daten der heutigen deutschen Wohnbevölkerung übereinstimmen. Hierzu wird eine Erhebung mit anthropometrischen Daten über Handmaße ausgewertet.

3 Ziele, Methoden, Durchführung und Auswertung der Erhebungen im Rahmen der vorliegenden Arbeit

Für eine effiziente Produktion sind auch effiziente Maschinen erforderlich. Eine Maschine kann aber nur effizient sein, wenn sie auch ein einfaches und schnelles Anwenden ermöglicht. Dies kann nur mit einer ergonomischen Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle gelingen, so dass das Erlernen der Bedienung von neuen Produkten in möglichst kurzer Zeit erfolgen kann. In den Vorrecherchen zu dieser Studie (siehe Kapitel 2) wurden bereits erhebliche Unterschiede in der Gestaltung von Bedienfeldern aufgezeigt. Eine Konsistenz im Erscheinungsbild und einheitliche Steuerungen oder Bedienfelder waren hierbei kaum zu erkennen (vgl. auch Abb. 3.1).



Abb. 3.1: Beispielhafte Darstellung unterschiedlicher Ausführungen von Bedienfeldern

Mit dem Ziel, Empfehlungen für eine möglichst gebrauchstaugliche Hardware-Entwicklung abzuleiten, wurde zunächst eine Pilotstudie und dann drei weitere Studien (Loops) durchgeführt. Die Loops basieren auf Arbeitshypothesen, die sich aus Ergebnissen von Vorrecherchen (Kapitel 2) und der Pilotstudie ableiten. Diese Loops bauen aufeinander auf. So fließen Erkenntnisse aus Loop 1, einer Performance-Untersuchung mit Hilfe eines Eye-Tracking Systems in die Analysen und Auswertungen von Loop 2, einer umfangreichen Arbeitsanalyse, mit ein. Loop 3, eine Auswertung von anthropometrischen Daten, rundet die Erkenntnisse aus den vorherigen Loops ab.

3.1 Ziele, Methoden, Durchführung und Auswertung der Pilotstudie

3.1.1 Ziel der Pilotstudie

Die Pilotstudie zielte zunächst auf eine grobe Analyse der Arbeitsplätze an CNC-Maschinen ab. Im Fokus stand hierbei zunächst das Erkennen von Problemen und Schwierigkeiten während des Erlernens der Bedienung von CNC-Maschinen. Die heutige, häufig im internationalen Wettbewerb stehende Arbeitswelt fordert von Unternehmen wie Beschäftigten eine schnelle Anpassung an den Markt. Ein schnelles und intuitives Erlernen der Bedienung von neuen CNC-Maschinen kann hierbei eine zeit- und kostensparende Maßnahme für Unternehmen darstellen.

Für die Datenerhebung in der Pilotstudie wurden Lehrwerkstätten ausgesucht, die Aus- und Fortbildungen an CNC-Maschinen anbieten, wie z. B. eine Ausbildung zum Zerspanungsmechaniker oder zur CNC-Industriefachkraft. Ziel dabei war es, die ersten Erfahrungen und Eindrücke von Personen zu erfassen, die in der Ausbildung sind und sich mit neuen, bislang unbekanntem Steuerungen und Programmiersystemen auseinandersetzen. Von Interesse war bei vor allem das Aufdecken von Problemen und Schwierigkeiten. Wo liegen diese und welche Lösungen können aus der Perspektive der Auszubildenden daraus abgeleitet werden.

Darüber hinaus wurden Arbeitsanalysen durchgeführt und Bewertungen der allgemeinen Gestaltung des Steuerstandes, wie z. B. die Anordnung zum Arbeitsprozess, Höhenverstellbarkeit, usw. vorgenommen. Zusätzlich wurden die Auszubildenden zu ihrer Einschätzung der haptischen Informationswahrnehmung von Stellteilen auf dem Bedienfeld (wie die Bedienbarkeit von Stellteilen), der visuellen Informationswahrnehmung von Zeichen und Symbolen auf dem Bildschirm und Bedienfeld sowie zu Körperhaltungen und zu Beschwerden des Muskel-Skelett-Systems befragt.

3.1.2 Eingesetzte Methoden

Das Design der Pilotstudie schloss die Entwicklung eines standardisierten Fragebogens für die Umfrage von Auszubildenden ein. Dieser Fragebogen wurde u. a. unter Verwendung von methodischen Erkenntnissen zur Test- und Fragebogenkonstruktion entwickelt [BÜHNER, 2008]. Mit dem Fragebogen in Kombination mit einer Checkliste lassen sich die Maschinensteuerstände, die Arbeitsorganisation am CNC-Maschinenarbeitsplatz, die Arbeitsbedingungen sowie die Einschätzungen der Maschinenführer dokumentieren und auswerten. Dieses Methodeninventar entstand auf der Grundlage von vorher geführten Expertengesprächen mit Maschinenherstellern und Maschinenführern sowie auf der Wissensgrundlage von Ergonomie-Experten (Anhang 1). Der Fragebogen enthielt keine Angaben zu persönlichen Daten, so dass ein großes Maß an Anonymität gewährleistet werden konnte.

Der Fragebogen ist thematisch in sieben Teile gegliedert und durchgängig nummeriert. Um die Probanden zeitlich nicht zu überfordern, wurden überwiegend geschlossene Fragen mit vorgegebenen Antwortmöglichkeiten verwendet. Es bestand u. a. auch die Möglichkeit zur Mehrfachantwort, um dem Effekt der „erzwungenen Wahl“ vorzubeugen. Bei vielen Fragen

bestand die Möglichkeit, fehlende bzw. nicht ausreichend berücksichtigte Antwortmöglichkeiten zu ergänzen und diese entsprechend zu beantworten. Außerdem bestand bei offenen Fragen die Möglichkeit, weitere Informationen über eigene Arbeitserfahrungen bzw. eigene Einschätzungen einzutragen. Auch wenn offene Fragen bekanntermaßen schwierig auszuwerten sind, sind sie doch häufig hilfreich, weil sie unmittelbar subjektive Informationen von Benutzern einbringen können.

Die Antwortmöglichkeiten wurden für eine Reihe von Fragen in einer sechsstufigen Skala dargestellt. Je nach der Fragestellung variierten die Antwortmöglichkeiten von „sehr leicht“ bis „sehr schwer“, von „sehr entspannt“ bis „sehr angespannt“, von „sehr gut“ bis „sehr schlecht“, „stimme voll und ganz zu“ bis „stimme überhaupt nicht zu“. Die meisten Fragen konnten mit üblichen Kategorien „ja“, „nein“ und „weiß nicht“ beantwortet werden.

3.1.3 Durchführung der ausgewählten Methodik

Die Befragung wurde in Aus- und Fortbildungslehrgängen für CNC-Maschinen in vier Lehrwerkstätten des Bergischen Landes in Nordrhein-Westfalen durchgeführt. Alle befragten Personen nahmen an dem Ausbildungskurs zur Fachkraft für CNC-Werkzeugmaschinen teil. Da sich diese Untersuchung mit der Erfassung von Schwierigkeiten, die während der Erlernphase auftreten, nahmen ausschließlich Auszubildende in diese Phase der Untersuchung teil.

Bevor die Fragebögen in Papierform an alle Teilnehmer ausgegeben wurden, wurden zunächst die Ziele und Hintergründe der Untersuchung sowie die Anonymität der Befragung und die Voraussetzungen der Datenverwaltung erläutert. Als wichtiger Hinweis für das Ausfüllen des Fragebogens wurde ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Befragung sich auf die Bedienbarkeit von CNC-Maschinen richtet und weder auf die individuellen Kenntnisse in der Bedienung von CNC-Werkzeugmaschinen noch auf die Untersuchung der Eigenschaften einzelner Mitarbeiter abzielt. Es wurde zudem eine Datenschutzerklärung erstellt, um den befragten Personen auch schriftlich zu erklären, dass etwaige persönliche Daten anonymisiert ausgewertet und nicht an andere Person weitergeleitet und nur für wissenschaftliche Zwecke verwendet werden (siehe Anhang 2). Für eventuelle Fragen stand während des Ausfüllens das Untersuchungsteam zur Verfügung.

3.1.4 Auswertungsmethoden

Die Auswertung der Datensätze erfolgte unter Einsatz der Software IBM SPSS Statistics, Versionen 20 - 22. Alle persönlichen Daten wurden in die Auswertung in codierter Form einbezogen, so dass die Anonymität gewährleistet und einzelne Personen ebenso wie Standorte nicht erkannt werden konnten. Zusammenhänge zwischen zwei Variablen wurden mittels Korrelationsanalyse untersucht, welche auch Auskunft über Art und Grad des Zusammenhanges gibt. Statistische Unterschiede zwischen den gebildeten Gruppen wurden mithilfe der univariablen Analyse betrachtet.

Fragen aus dem Fragebogen wurden in die Auswertung dann nicht aufgenommen, wenn sie mit einem hohen Anteil von „weiß nicht“- oder „trifft nicht zu“-Antwortmöglichkeiten beantwortet wurden.

3.2 Ziele, Methoden, Durchführung und Auswertung des Loops 1 „Eye-Tracking“ – Feldstudie

Loop 1 zielte auf die Erfassung von objektiven Daten während der Bedienung einer CNC-Maschine ab. Hierzu wurde ein Eye-Tracking-System eingesetzt, welches die Blickbewegungen bei Arbeitstätigkeiten kontinuierlich aufzeichnet. Eye-Tracking-Systeme kommen in verschiedenen Wissensgebieten für die Evaluierung von Mensch-Maschine-Systemen wie auch anderen Forschungsbereichen zum Einsatz. Am häufigsten werden Eye-Tracking-Systeme für Marketingzwecke verwendet. Ein weiteres Einsatzfeld ist die Evaluierung von Internetseiten [vgl. SCHMIDT, 2008]. Erkenntnisse im Bereich der Gebrauchstauglichkeit von Produkten liegen aus verschiedenen Studien vor, wie z. B. Nutzung von Mobiltelefonen [vgl. DREWES, 2010], Blickanalysen in Fahrzeugen [vgl. LANGE et al., 2010], Bedienung von Verkaufsautomaten [vgl. OVERINK, 2011]. Einige Studien verwenden Eye-Tracking-Systeme auch in der Feldforschung für Untersuchungen an Arbeitsplätzen [vgl. KOCKROW & HOPPE, 2012].

3.2.1 Ziel des Loops 1

Die aus der Pilotstudie gewonnenen Informationen wiesen darauf hin, dass bei der Gestaltung von CNC-Arbeitsplätzen noch Optimierungsbedarf besteht. Hierbei waren oft deutliche Unterschiede in der Bewertung der Wahrnehmung von Informationen bezüglich unterschiedlicher Bedienfelder und Programmiersysteme festzustellen. Um diese Erkenntnisse zu objektivieren, wurde das Blickverhalten bei der Durchführung von Arbeitsaufgaben untersucht. Die mittels Eye-Tracking-System aufgezeichneten Blickbewegungen können dazu beitragen, Schwachstellen in der Gestaltung des jeweiligen Bedienfeldes zu identifizieren.

Neben den Blickbewegungen wurden die Abmessungen des Arbeitsplatzes sowie des Bedienfeldes erfasst und dokumentiert. Außerdem wurde zur Ergänzung der objektiven Daten aus den Eye-Tracking-Aufnahmen ein standardisierter Post-Task-Fragebogen optimiert und angepasst.

3.2.2 Angewendete Methodik

Zur Erfassung von objektiven Daten zum Verhalten einer Person bei der Bedienung einer CNC-Werkzeugmaschine wurde ein Head-Mounted Eye-Tracking System der Fa. Ergoneers (siehe Abb. 3.2, Bild links) eingesetzt. Da die Daten drahtlos übertragen werden, erlaubt das System eine gute Mobilität der Probanden während des Versuches.



Abb. 3.2: Head-mounted Eye-Tracking-System von Ergoneers® (l) und Anbringen von Markers an einer CNC-Maschine (r)

Mit dem Begriff „Blickbewegungsregistrierung“ (Okulographie) wird das Aufzeichnen der Augenbewegungen und -fixationen eines Anwenders beschrieben. Dies erlaubt dem Untersucher u. a. zu erkennen, wie Personen erforderliche Informationen auffinden, ob sie diese wahrnehmen, auf welche Weise sie diese suchen, wie viel Zeit sie dafür benötigen. Das System besteht üblicherweise aus zwei Kameras – einer Feldkamera (FieldCam) zur Erfassung der Umgebung im Blickfeld des Probanden, sowie einer Augenkamera (EyeCam) zur Erfassung der Augenbewegungen während der Untersuchung.

Mit der Fixierung von Markern am Untersuchungsobjekt (Abb. 3.2, Bild rechts) lassen sich bei der Auswertung Interessensbereiche (Areas of Interest) definieren. Die Marker müssen dabei möglichst so fixiert werden, dass diese während des Tests durch die Anwender nicht verdeckt werden.

Erfassung der Hintergrundinformationen

Neben den so ermittelbaren objektiven Daten spielt bei der Ermittlung der Gebrauchstauglichkeit die mittels Fragebogen erhobenen subjektiven Daten eine ergänzende und wichtige Rolle. Zu diesem Zweck wurde basierend auf anderen Untersuchungen [vgl. KLUßMANN et al., 2009] ein kurzer Fragebogen zur Erfassung weiterer Faktoren entwickelt (Anhang 3). Über diesen wurden soziodemographische Daten wie Alter, Körpergröße und Gewicht, aber auch Ausbildung, Erfahrung in der Arbeit mit CNC-Werkzeugmaschinen sowie in deren Programmierung erfasst.

Post-Task Fragebogen

Weitgehend basierend auf dem Fragebogen aus der Pilotstudie wurde ein Post-Task Fragebogen für die Untersuchungen in den Lehrwerkstätten optimiert und an diese Untersuchung angepasst. Dieser erfasst Informationen zur durchgeführten Aufgabe an der jeweiligen CNC-Steuerung (siehe Anhang 4) und enthält Fragen zur Gestaltung des Steuerstandes und dessen Bestandteilen. Dieser umfasst sowohl Fragen im Vergleich von bedienten Maschinen wie auch Fragen zur subjektiven Bewertung der bei der durchgeführten Arbeitsaufgabe gerade bedienten Maschine.

Checkliste zur Erfassung von Informationen vom und zum Arbeitsplatz

Die für die Untersuchung zusammengestellte Checkliste basiert auf den Ergebnissen aus der Pilotstudie und auf schon bestehenden Checklisten [vgl. VOLLMER, 1995; BGI/GUV-I 5048-1, 2010] sowie vorhandenen Normen wie DIN EN 894-3 [2010], ISO 14738 [2002], VDI/VDE 3850 Blatt 1 [2014] und Blatt 2 [2002], DIN 60204-1 [2011] (siehe Anhang 5). Dazu gehören u. a. Abmessungen des Steuerstandes, wie Höhe der Bedienelemente, Abstand des Bedienfeldes zum Fertigungsraum, Bildschirmdiagonale oder die Größe der Bedienelemente. Mittels der Checkliste werden zudem Aspekte der Gestaltung des Bedienfeldes sowie dessen Anordnung an der Werkzeugmaschine dokumentiert.

3.2.3 Durchführung der ausgewählten Methodik

Eye-Tracking-Untersuchungen

Zunächst wurden Probanden über die Ziele und Hintergründe der Untersuchung informiert. Vor Beginn der Versuche wurden die Probanden nochmals darauf hingewiesen, dass die Untersuchungen komplett anonym sind. Zudem wurde nochmals erläutert, dass das Ziel dieser Untersuchungen die Bedienbarkeit der CNC-Maschinensteuerstände ist und es nicht um die persönlichen Eigenschaften der jeweiligen Person geht.

Vor jedem Versuch wurde für jeden Proband und jeden Steuerstand eine Kalibrierung des Eye-Tracking-Systems vorgenommen. Für die Kalibrierung wurden vier feste Punkte ausgewählt, welche die Personen während des Kalibrierungsprozesses betrachten sollen, um das Eye-Tracking-System dementsprechend zu justieren. In der späteren Analyse werden die Augenbewegungen und die betrachteten Objekte im Blickfeld dann übereinander gelegt.

Die Aufgaben für die Durchführung der Eye-Tracking Untersuchung wurden für alle Personen und CNC-Maschinen standardisiert. Zur Untersuchung der Bedienfreundlichkeit von unterschiedlichen Bedienfeldern an verschiedenen CNC-Werkzeugmaschinen wurden zusammen mit den Ausbildungsleitern typische, standardisierte Aufgaben festgelegt.

Erfassung der Hintergrundinformationen und Post-Task Fragebogen

Nach der Durchführung des Versuches wurde den Probanden der Post-Task-Fragebogen vorgelegt. Während des Ausfüllens des Fragebogens stand das Untersuchungsteam zur Verfügung, um mögliche Unverständlichkeiten und/oder Fragen zu beantworten.

Checkliste zur Erfassung von Informationen vom und zum Arbeitsplatz

Die Checkliste wurde während der Untersuchungen vom Untersuchungsteam ausgefüllt. Für eine spätere Kontrolle der Daten wurde jede der untersuchten CNC-Maschinen und jedes Bedienfelder fotografisch erfasst und so die räumliche Zuordnung dokumentiert. Mit einem Maßband wurden zudem wesentliche Abmessungen erfasst (vgl. Abb. 3.3).

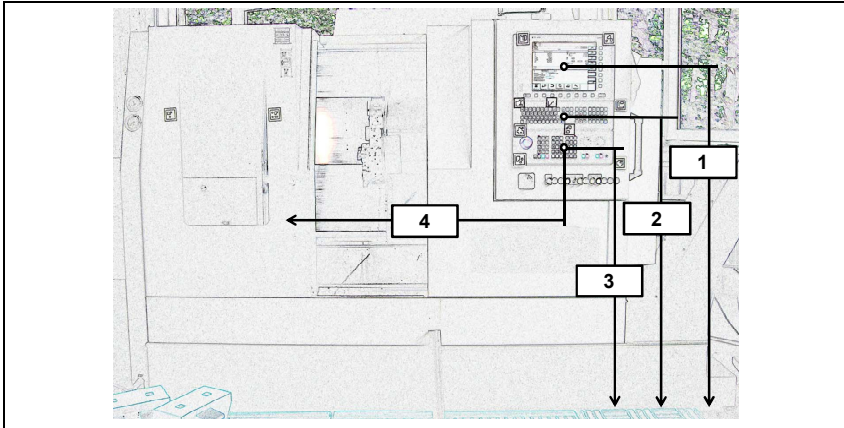


Abb. 3.3: Einige für die Checkliste vorgenommene Messungen an der Werkzeugmaschine: 1, 2, 3 – Höhe der wichtigsten Bedienelemente
4 – Abstand „Mitte des Bedienfeldes – Mitte des Fertigungsraums“ bzw. „bis zum Futter“

3.2.4 Auswertungsmethoden

Auswertung der Daten der Blickbewegung

Für die Auswertungsvorbereitung standen vom Hersteller Ergoneers mitgelieferte Programme wie „D-Lab“ bzw. „Dikablis Analysis“ zur Verfügung. Für die weiteren Analysen wurden die aufgenommenen Videos zunächst vorbereitet – d.h. mit Hilfe einer Erkennungssoftware wurden die Marker erkannt wenn nötig nachbearbeitet. Dazu gehört z. B. die manuelle Nacherkennung der Pupille und der betrachteten Bereiche. Bei einigen Probanden war die automatische Pupillenerkennung nicht immer gegeben, so dass die automatische Pupillenerkennungsrate insgesamt zunächst nur etwa 60% entsprach. Da für die Auswertung eine höhere Erkennungsrate (mindestens 90%) angestrebt wurde, wurde in diesem Fall die Pupillenerkennung manuell nachbearbeitet. Für alle aufgenommenen Videos konnte so eine durchschnittliche Erkennungsrate von 97,3% (93,7%...99,7%) erzielt werden.

Bei der Blickfassung sind Mikrobewegungen des Auges, wie z. B. Driftbewegungen oder Fixationstremor, zu beobachten. Diese sind meistens nur für medizinische Untersuchungen relevant und können somit bei Untersuchungen von Arbeitssituationen vernachlässigt werden [GRIEßER, 1995]. Die Fixationsdauer¹⁴ ist der am häufigsten betrachtete Parameter der Augenbewegungen und wird oft als Maß für die Dauer der Bearbeitung der betrachteten Information verwendet. In der vorliegenden Untersuchung wurden für die Auswertung des Blickverhaltens der Probanden Interessenbereiche (so genannte „Areas of Interest“) definiert.

¹⁴ Eine Fixation wird definiert als ein Zustand, in dem das Auge sich bezüglich eines Sehobjektes in „relativen“ Stillstand befindet [RÖTTING, 2001].

Das Festlegen von Interessensbereichen erlaubt die Erfassung der Blickdauer in einer vorbestimmten Zone. Für die vorliegende Untersuchung wurden diese Interessensbereiche entsprechend der Arbeitsaufgaben wie folgt festgelegt: Bildschirm (Abb. 3.4, Bereich 1), Systemfunktionen / (Alpha-)Numerischer Block (Abb. 3.4, Bereich 2), Maschinenfunktionen (Abb. 3.4, Bereich 3) sowie Fertigungsraum (Abb. 3.5).

Für die Festlegung der Fixationen in den so bestimmten Interessensbereichen spielen die von der Software erkannten Marker eine bedeutsame Rolle. Die Marker, die während der Untersuchung versehentlich verdeckt oder abhängig vom Abstand des Probanden zum Steuerstand nicht vollständig von der Feldkamera aufgenommen wurden, mussten nachbearbeitet werden. Insgesamt konnte eine hohe Markererkennungsrate erreicht werden (im Durchschnitt 85,4% (61,7%...99,7%). Nachdem alle Interessensbereiche festgelegt wurden und die Pupillenerkennung stattgefunden hatte, wurden die Abschnitte, in denen die Marker nicht erkannt wurden, manuell nachbearbeitet, so dass eine Registrierung des Blickverhaltens über die ganze Arbeitsaufgabe erreicht werden konnte.

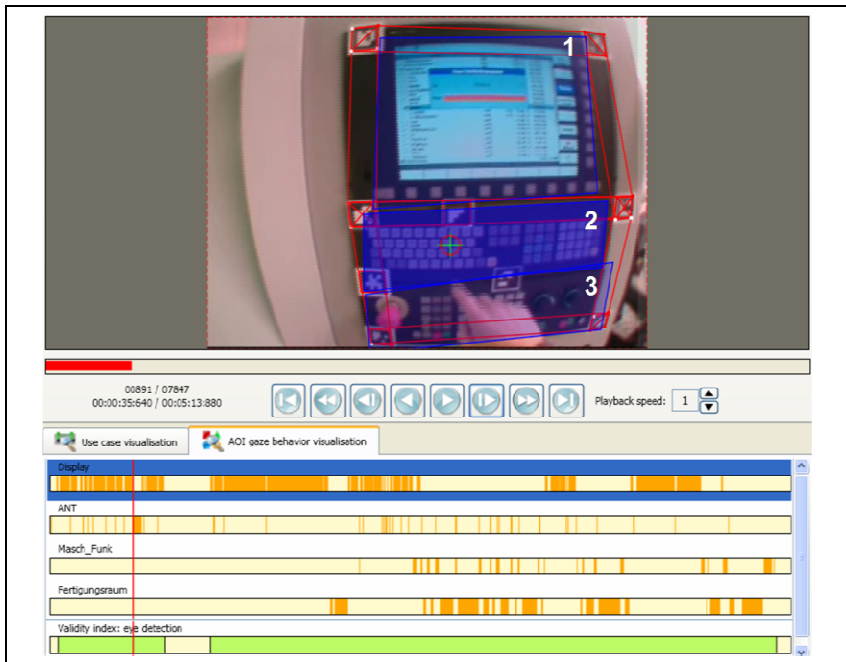


Abb. 3.4: Festlegen von Interessensbereichen (Areas of Interest) im Bedienungsbereich

Die Fixationsdauer ist naturgemäß auch abhängig von der Schwierigkeit der Aufgabe. Bei Aufgaben, welche hohe Anforderungen an die visuelle Informationsaufnahme und -verarbeitung

tung stellen, kommt es zusätzlich zu einer Erhöhung der Fixationsfrequenz¹⁵, bei größerer Beanspruchung auch zur Veränderung der Fixationsdauer [LINK et al., 2008]. Die Statistik der Häufigkeit und der Dauer der Fixation kann grafisch veranschaulicht werden (Abb. 3.4 und Abb. 3.5, jeweils untere Bereiche). Für die Analyse längerer Fixationsdauern, die in verschiedenen Interessensbereichen auftreten können, wird eine Videoanalyse vorgenommen. Diese erlaubt Fixationen im jeweiligen Interessensbereich zu bestimmen. Hieraus kann abgeleitet werden, welche Prozesse beispielsweise eher schwierig, welche eher einfach sind und welche Ursachen und Folgen sie aufweisen.

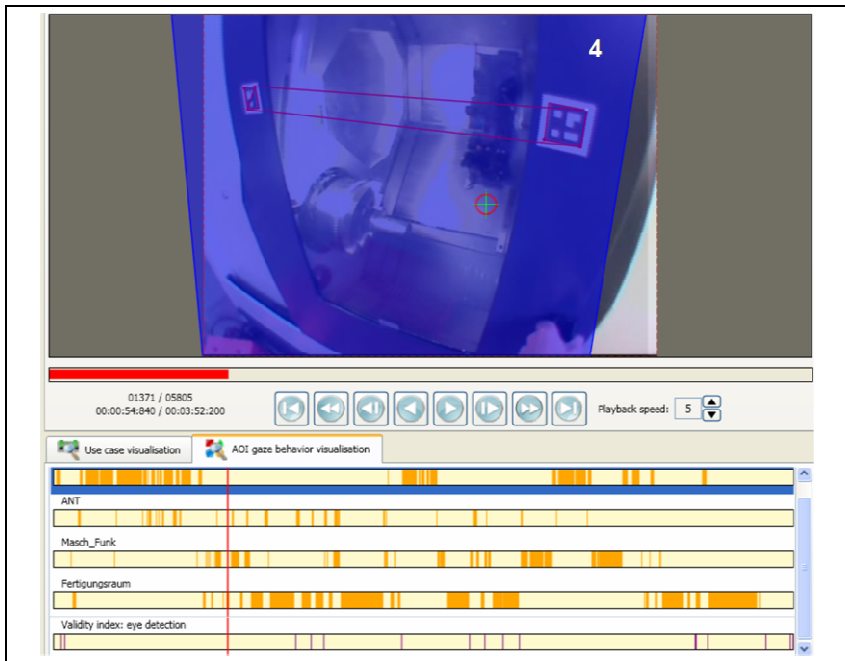


Abb. 3.5: Festlegung der Interessensbereiche (Areas of Interest) im Fertigungsraum

Auswertung des Fragebogens zur Erfassung von Hintergrundinformationen und Informationen aus dem Pre-Test-Fragebogen

Die Daten aus den Fragebögen wurden mit Hilfe des Statistikpaketes IBM SPSS Statistics, Versionen 20-22 ausgewertet. Für die Auswertung von Parametern wie Alter des Probanden, Erfahrung in der Bedienung von CNC-Werkzeugmaschinen und bisher bedienten Interaktionsoberflächen, wurden Gruppen gebildet. Eine der Möglichkeiten die

¹⁵ Eine Erhöhung der Fixationsfrequenz führt zur Zunahme der Anzahl von Blicksprüngen von einem relevanten Bereich zu einem anderen.

Zusammenhänge in den Bewertungen zwischen den Gruppen festzustellen, ist die Anwendung der Varianzanalyse. Für die Ermittlung, ob signifikante Unterschiede in der Bewertung zwischen den einzelnen Gruppen bestehen, wurde der LCD Post Hoc Test¹⁶ verwendet. Zudem wurde untersucht, inwieweit Unterschiede in der intraindividuellen und interindividuellen Bewertung verschiedener Fragestellungen bestehen. Dabei wurden auch die objektiven Daten aus der Untersuchung aufgenommen, wie Dauer und Erfolg der Arbeitsaufgabenerfüllung sowie der Aspekt, ob Hilfe (durch den Untersuchungsleiter oder den Ausbilder) während der Durchführung der Arbeitsaufgabe in Anspruch genommen wurde.

Auswertung der Daten aus der Checkliste zur Erfassung von Informationen vom und zum Arbeitsplatz

Die Informationen aus der Checkliste, die zur Beschreibung der Gestaltung der Elemente des Bedienfeldes und der Gestaltung zum Arbeitsplatz dienten, wurden deskriptiv ausgewertet. In gleicher Weise wurde mit den gemessenen Daten sowie den Abmessungen der Bedienelemente, die u. a. mithilfe des Programms DatInf® Measure aufgenommen wurden, verfahren.

¹⁶ Die „Least significant difference“ (LSD) stellt einen weniger konservativen Signifikanztest dar, der auch bei deutlich unterschiedlichen Gruppenstärken eingesetzt werden kann.

3.3 Ziele, Methoden, Durchführung und Auswertung des Loops 2 „CNC-Arbeitsanalyse“ – Querschnittstudie

Die Ergebnisse der Pilotstudie zeigten, dass mehr als die Hälfte der befragten Personen die Körperhaltungen während der Bedienung von CNC-Maschinen als angespannt beurteilten. Auch in Loop 1 ließen sich oft ungünstige Körperhaltungen während der Programmier- und Bedientätigkeiten erkennen. Des Öfteren war während des Programmiervorganges die Abstützung am Gehäuse der CNC-Maschine oder am Steuerstand zu beobachten. Diese Erkenntnisse aus den in dieser Arbeit beschriebenen Studien war Grundlage für weitere Untersuchungen der Körperhaltungen während der Bedientätigkeiten an CNC-Maschinen im Feld. Hierzu wurden Informationen an den Arbeitsplätzen gesammelt, an denen CNC-Maschinen eingesetzt werden.

3.3.1 Ziel des Loops 2

Dieser Teil der Untersuchung beschäftigt sich mit der Ermittlung von Körperhaltungen während der einzelnen Bearbeitungsphasen an CNC-Werkzeugmaschinen in Betrieben wie Programmierung, Einrichtung, Bedienung und Überwachung, Beschicken sowie Wartung und Kontrolle¹⁷. Dabei wurden Arbeitsplätze beobachtet an denen CNC-Maschinen eingesetzt werden. Ziel dabei war es, zu ermitteln, ob die Situation in Betrieben vergleichbar mit den in Lehrwerkstätten gesehen werden kann. Hierzu wurden die Körperhaltungen beim Bedienen der Werkzeugmaschinen ermittelt und ausgewertet. Außerdem wurde die Arbeitsschwere während der Arbeit an CNC-Werkzeugmaschinen abgeschätzt.

3.3.2 Angewendete Methodik

Dieser Teil der Untersuchung wurde in Form einer Arbeitsplatzbeobachtung in Betrieben durchgeführt. Hierzu wurden mithilfe des computerunterstützten Arbeitsanalysetools Belastungs-Dokumentations-System¹⁸ (BDS) verschiedene Arbeitsplätze in Betrieben bewertet. Die Oberfläche dieses Tools ist so aufgebaut, dass man unterschiedliche Informationen bezüglich des Arbeitsplatzes eingeben kann, wie z. B. Art der Arbeit / Tätigkeit, Körperhaltung, Länge bestimmter Tätigkeiten, Maße der zu handhabenden Lasten etc. Für eine ausgewählte Situation, wie z. B. Arbeiten im Stehen, werden für diese Position relevante Informationen vorgegeben. Somit findet eine standardisierte Arbeitsanalyse statt. Danach können die ermittelten Daten exportiert werden und so auch über das Standardprogramm hinaus ausgewertet werden. Diese Möglichkeit wurde im Rahmen der Untersuchung genutzt.

¹⁷ Diese Untersuchung wird als ein Teil von größeren Erhebungen in Betrieben der Automobilzuliefererindustrie durchgeführt.

¹⁸ Das Belastungs-Dokumentations-System wurde vom Institut für Arbeitsmedizin, Sicherheitstechnik und Ergonomie e.V. (ASER) entwickelt. Für weitere Informationen siehe <http://institut-aser.de/out.php?idart=265>

3.3.3 Durchführung der ausgewählten Methodik

Loop 2 war Bestandteil einer größeren Erhebung in verschiedenen Betrieben der Automobilzuliefererindustrie. Für diese Untersuchung wurden nur Arbeitsplätze ausgewählt, bei denen an computergesteuerten Werkzeugmaschinen gearbeitet wurde.

Das für diese Beurteilung ausgewählte Tool ist softwarebasiert und erlaubt die Eingabe von Daten unmittelbar während der Beobachtung von Arbeitsvorgängen am Arbeitsplatz. Es erlaubt weitere Arbeitsplätze mit den dazu gehörenden Arbeitsvorgängen anzulegen. Die Arbeitsplätze werden vom Untersuchungsteam beobachtet und die Eingabemasken entsprechend den Beobachtungen ausgefüllt. Abb. 3.6 zeigt ein Beispiel der Eingabemaske des Beurteilungstool BDS. Dabei werden wesentliche Informationen über Arbeitsorganisation, Körperhaltung, Körperbewegung etc. dokumentiert. Die Eingabemaske wird dabei automatisch den Eingaben angepasst, was dazu führt, dass nur für die Situation zutreffende Informationen angezeigt werden.

The screenshot displays the BDS assessment tool interface with the following sections and data:

- physische Belastungen** (selected):
 - Lastenhandhabung / Kraftausübung / Handarbeit**:
 - Keine Angabe
 - Keine Handhabung von Lasten oder Ausübung von Kräften
 - Ausübung von Hand-, Arm- oder Fingerkräften und/oder Handhabung geringerer Lasten
 - Heben / Halten größerer Lasten (> 5 kg)
 - Tragen größerer Lasten (> 5 kg)
 - Ziehen / Schieben größerer Lasten (> 5 kg)
 - manuelle Handarbeit**:
 - Keine Last - nur Ausübung von Kräften
 - Arbeitsorganisation**:
 - Schlecht: Kein/kaum Belastungswechsel
 - Ausführungs-Bedingungen**:
 - Gut: sichere Detailerkennbarkeit...
 - Greifen über Schulterhöhe/ körperfernes Greifen**:
 - nie
 - gelegentlich
 - häufig
 - ständig
 - Buttons: Eingabefenster für manuelle Arbeitsprozesse öffnen, i
- Umgebung/bedingungen**:
 - Körperhaltung**:
 - keine Angabe
 - Image of a person standing with a label: Ungünstig - Rumpf deutlich vorgebeugt und/oder verdreht
 - Möglichkeit des Belastungswechsels:
 - möglich
 - eingeschränkt
 - stark eingeschränkt
 - nicht möglich
 - Körperbewegung**:
 - Keine Angabe
 - ortsveränderliches Stehen: Auswählen
 - Art der Arbeit**:
 - keine Angabe
 - keine Körperliche Arbeit (z.B. Körperbewegung ohne Last)
 - Handarbeit**:
 - leicht
 - mittel
 - schwer
 - Einarmarbeit**:
 - leicht
 - mittel
 - schwer
 - Zweiarbeit**:
 - leicht
 - mittel
 - schwer
 - Körperarbeit**:
 - leicht
 - mittel
 - schwer
 - sehr schwer
 - Arbeitsenergieumsatz: 6.3 kJ/min

- Navigation/Buttons**: OK, Hilfe, Speichern, Vorgang drucken, Formular drucken..., Beschreibung, Vorgangsprofil, Abbrechen
- Summary**: Vorgangsdauer: 480.00 min, Anzahl: 1

Abb. 3.6: Beispiel einer Eingabemaske des eingesetzten Analyse- und Beurteilungstools BDS.

3.3.4 Auswertemethoden

Die erfassten Daten können aus dem Programm exportiert und so mit weiteren Tools statistisch ausgewertet werden. Neben der deskriptiven Statistik wurden statistische Unterschiede zwischen den Gruppen mithilfe der einfaktoriellem Varianzanalyse untersucht.

3.4 Ziele, Methoden, Durchführung und Auswertung des Loops 3 „Handmaße“ – Feldstudie

Die Bedienung der CNC-Werkzeugmaschinen erfolgt durch Betätigung verschiedener Bedienelemente vor allem bei Programmier-, aber auch bei Einrichtungstätigkeiten. Dabei besteht ein Zusammenhang zwischen der Gestaltung und Anordnung der Bedienfelder und dem Bedienungskomfort. Ein Ergebnis aus Loop 1 (Untersuchung mithilfe des Eye-Tracking-Systems) und Loop 2 (Arbeitsanalyse) war, dass sich Personen während der Bedienung der CNC-Maschine häufig abstützen, wodurch die Betätigung von Bedienelementen oft durch den Daumen erfolgt. Zwar gibt die Normung Informationen über verschiedene Handmaße, diese sind aber zum Teil veraltet.

Wie z. B. eine Arbeit von WETZEL [2012] zeigt, spielen anthropometrische Parameter eine wichtige Rolle bei der Gestaltung von Maschinen u. a. auch bzgl. von Sicherheitsaspekten. Anhand neuer Daten hat sie in ihrer Arbeit feststellen können, dass der zu Prüfzwecken von Gehäuseöffnungen Prüffinger¹⁹ mit einer Länge von 80 mm ein hohes Sicherheitsniveau nicht mehr gewährleisten kann. Eine Analyse von knapp 400 Zeigefingerbildern zeigte, dass 49% der Männer und 22% der Frauen eine Zeigefingerlänge von mehr als 80 mm aufwiesen und somit trotz erfolgreicher Prüfung potenziell gefährdet sein können.

Dies weist auf eine hohe Bedeutsamkeit anthropometrischer Daten bei der Gestaltung von Maschinen hin. Dieser Teil der Untersuchung greift diesen Aspekt auf und setzt die Maße von Bedienelementen mit relevanten anthropometrischen Daten in Bezug.

3.4.1 Ziel des Loops 3

Im dritten Loop dieser Untersuchung werden bestehende Anforderungen zur Gestaltung von Bedienelementen der Maschinensteuerstände mit anthropometrischen Daten einer repräsentativen deutschen Wohnbevölkerung verglichen. Hierzu wurden im Rahmen von Feldstudien anthropometrische Daten beider Hände mithilfe eines 3D-Scanners erfasst und ausgewertet.

3.4.2 Angewendete Methodik

Die erforderlichen anthropometrischen Daten einer deutschen Wohnbevölkerungsstichprobe wurden mithilfe eines 3D-Scanners der Firma VITRONIC® erfasst (Abb. 3.7). Die entsprechenden Messungen waren Teil einer größeren Untersuchung²⁰, bei der zusätzlich zu

¹⁹ Der Prüffinger dient dazu, die Bewegung des menschlichen Fingers zu simulieren und dabei mögliche Gefährdungspotenziale an der Maschine festzustellen. Weiteren Informationen in DIN EN 60529 und in KAN-Bericht GA 49 [GEBHARDT & MUEHLEMEYER, 2012].

²⁰ Die hier beschriebene Untersuchung ist Teil des regionalen Schlüsselprojekts Design4All, welches im Rahmen des aus dem „Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE)“ kofinanzierten operationellen Programms für das Land Nordrhein-Westfalen zum Ziel „Regionale Wettbewerbsfähigkeit und Beschäftigung“ von der Europäischen Union und dem Land Nordrhein-Westfalen gefördert wurde.

den Messdaten soziografische Daten wie z. B. Alter, Körpergröße, berufliche und Tätigkeiten etc., mithilfe eines entsprechenden Fragebogens erfasst wurden.

3.4.3 Durchführung der ausgewählten Methodik

Die Untersuchung wurde als Teil einer Feldstudie²¹ geplant und durchgeführt. Personen, die sich an der Untersuchung beteiligten, waren Besucher verschiedener regionaler Veranstaltungen. Schwerpunkt waren dabei Besucher aus Nordrhein-Westfalen sowie hier der Bergischen Region. Der überregionale Charakter der Veranstaltungen kam durch Besucher aus anderen Teilen Deutschlands zum Ausdruck.

Die Personen, die an der Untersuchung teilnahmen, wurden zunächst über die Ziele und das Untersuchungsdesign informiert. Ein wichtiger Punkt dabei war, dass die Untersuchung anonym durchgeführt wird und keiner der Teilnehmer später identifiziert werden kann.

Der Untersuchungsleiter wies die Personen an, zunächst ihre linke und dann ihre rechte Hand mit gespreizten Fingern auf den Scanner in den hierfür gekennzeichneten Bereich zu legen (Abb. 3.7) und während des Scanprozesses die Hände nicht zu bewegen, um Artefakte zu vermeiden [vgl. DIN EN ISO 20685, 2010]. Durch die Auflagefläche war dies relativ problemlos zu bewerkstelligen. Weiter sollte der Unterarm etwa bis zur Hälfte entblößt werden. Der Fragebogen mit relevanten soziografischen Angaben wurde entweder vor oder nach den Messungen ausgefüllt.



Abb. 3.7: 3D-Scanner zur Erfassung anthropometrischer Daten des Hand-Unterarm-Systems

²¹ Bei der Durchführung der Feldstudien und bei den weiteren Auswertungen der Daten wurden die Umgebungsfaktoren, wie z. B. Außentemperatur, nicht berücksichtigt. Hierdurch möglicherweise bestehende Einflüsse auf die Fingerdicke konnten daher nicht berücksichtigt werden.

3.4.4 Auswertungsmethoden

Für die Auswertung der so erfassten 3D-Bilder des Hand-Unterarm-Systems wurde das Programm Rhinoceros Version 4.0 verwendet. Das Programm erlaubt die Auswertung und Bemaßung von 3D-Dateien und somit die Erfassung von anthropometrischen Maßen der Hände. Für die Bestimmung der Auswertepunkte wurden zusätzlich die Werte von 10 Personen mittels eines Messschiebers bestimmt und so die bestmöglichen Messpunkte innerhalb der 3D-Bilder im Programm ermittelt.

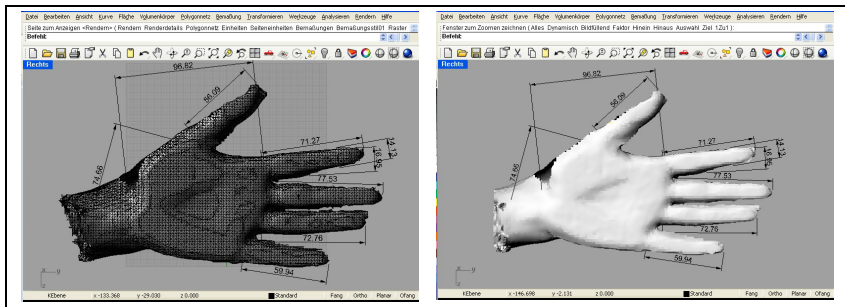


Abb. 3.8: Ansichtsmöglichkeiten der Handabbildungen im 3D-Format

Um eine möglichst gute Perspektive für ein bestimmtes Maß auszuwählen, können die 3D-Bilder um jede Koordinatenachse im Raum gedreht und so in verschiedenen Ansichten betrachtet und ausgewertet werden (vgl. Abb. 3.8 und Abb. 3.9). Entsprechende Anforderungen an eine 3D-Software sind in DIN EN ISO 20685 [2010] formuliert.

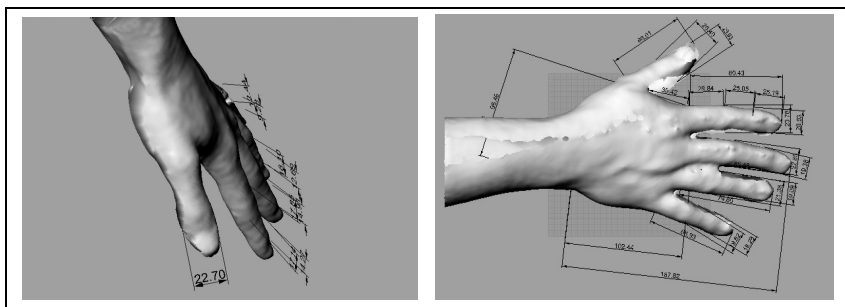


Abb. 3.9: Möglichkeit der Drehung der Handperspektive

In den Untersuchungen und Beobachtungen wurde deutlich, dass die Bedienelemente nicht nur mit dem Zeigefinger, sondern auch insbesondere bei ungünstig positionierten Stellteilen mit Daumen oder Mittelfinger betätigt werden. Diese werden für diesen Teil der Untersuchung mithilfe des Auswerteprogramms bestimmt. Dabei werden die Maße entsprechend den in DIN 33402 Teil 1 (vgl. Tabelle 1) und DIN EN ISO 7250 (vgl. Abschnitt 4.3) beschriebenen Messverfahren aufgenommen. Die für diese Untersuchung relevanten

Ziele, Methoden, Durchführung und Auswertung der Daten

Maße sind die distalen (körperfern) gemessenen Werte des Daumens sowie der Zeigefingers (Abb. 3.10).

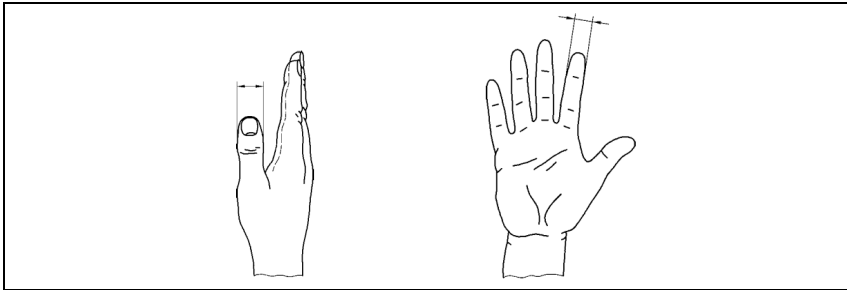


Abb. 3.10: Messverfahren zur Aufnahme der Werte der distalen Fingerbreite des Daumens und der Zeigefinger [aus DIN 33402 Teil 2]

Die gemessenen Werte werden in ein Access-Formblatt eingetragen (vgl. Abb. 3.11) und können entweder als Access-Datenbank direkt verwendet oder für weitere Auswertezwecke exportiert werden.

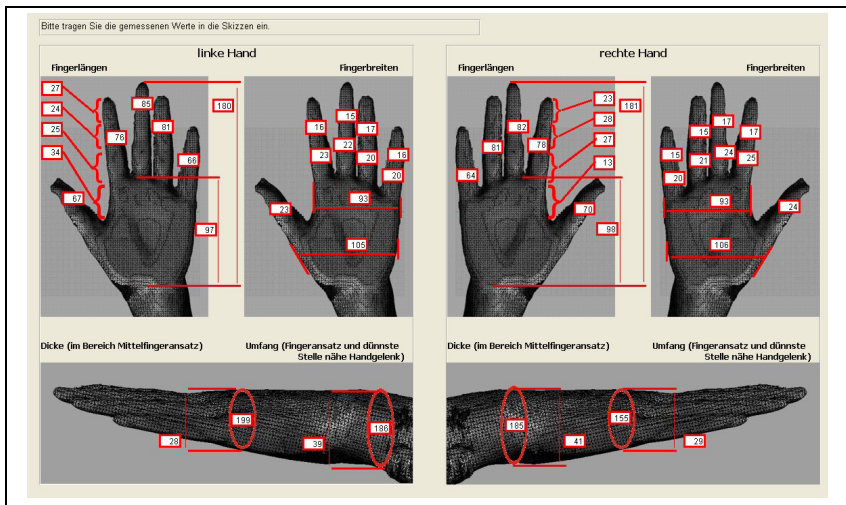


Abb. 3.11: Übertragung der gemessenen Werte in eine Access-Datenbank

Die so aufgenommenen Werte zu ausgewählten anthropometrischen Maßen wurden zusammen mit den Fragebogendaten mithilfe des Statistikpakets IBM SPSS Statistics 21 ausgewertet. Dabei wurde die Datenbasis neben der deskriptiven statistischen Auswertung auch im Hinblick auf bestehende statistische Zusammenhänge hin untersucht.

4 Ergebnisse

4.1 Ergebnisse der Pilotstudie

4.1.1 Beschreibung des untersuchten Kollektivs und Arbeitsmitteln

An der Pilotstudie nahmen 122 Personen im Alter zwischen 17 und 56 Jahre teil, darunter 112 männliche, 6 weibliche Personen, sowie vier Personen ohne Geschlechtsnennung. Aufgrund der hinsichtlich des Geschlechts sehr ungleichen Zusammensetzung des befragten Kollektivs wurden die Daten der weiblichen Probanden sowie der Probanden ohne Geschlechtsnennung aus der Auswertung ausgenommen und nur die Daten der männlichen Probanden in die Analyse einbezogen.

Für die Auswertung wurden die Probanden in vier Altersgruppen und nach Körpergröße in drei Gruppen unterteilt (siehe Tab. 4.1 und Tab. 4.2).

Tab. 4.1: Unterteilung in Altersgruppen

Altersgruppe	Anteil (Anzahl)
bis 25 Jahre	43% (46)
26-35 Jahre	23% (25)
36-45 Jahre	21% (22)
46-56 Jahre	13% (14)

Tab. 4.2: Unterteilung der Daten in Körpergrößengruppen

Körpergrößengruppen	Anteil (Anzahl)
bis 170 cm	14% (15)
171-180 cm	40% (45)
über 180 cm	46% (51)

Knapp 30% der befragten Personen hatten einen anderen kulturellen Hintergrund, darunter zu einem großen Teil (41%) die Auszubildenden in der Altersgruppe bis 25 Jahren. In die Befragung einbezogen wurden sowohl erfahrene Personen, die sich in der Weiter- und Fortbildung befanden, ebenso wie Auszubildende in der Erstausbildung und Personen, die sich in der Umschulung befanden. Weiter hatten mehr als 1/3 der befragten Personen Erfahrungen mit anderen, nicht in den Lehrwerkstätten vorhandenen Steuerungssystemen. Diese Heterogenität erklärt sich dadurch, dass viele Personen die Ausbildungskurse als Qualifizierungsmaßnahme nutzten. Für die vorliegende Untersuchung war das heterogene Kollektiv methodisch insofern von Vorteil, als dass sich neben möglichen Unterschieden zwischen den verschiedenen Altersgruppen auch unterschiedliche Hintergründe auswerten ließen. Mit Blick auf die demografische Entwicklung erscheint es sehr wichtig,

Schwierigkeiten im Erlernen von CNC-Werkzeugmaschinen auch für ältere Auszubildende zu erfassen.

Wie Tab. 4.3 zeigt, waren geringe Erfahrungswerte im Umgang mit CNC-Werkzeugmaschinen überwiegend bei jüngeren Personen, die sich in der Erstausbildung²² befanden, festzustellen. Ältere Personen nutzten die Ausbildung überwiegend für die Um-, Weiter- oder Fortbildung. Die in der Darstellung vorgenommene zeitliche Unterteilung nach der Erfahrung in der Arbeit mit CNC-Werkzeugmaschinen erklärt sich dadurch, dass man die ersten sechs Monate für die Einarbeitung und das Verständnis für die Arbeit an einer CNC-Maschine benötigt. In diesem Zeitraum werden erste Erfahrungen in der Bedienung sowie theoretische Informationen vermittelt. Die Zeit bis zu drei Jahre ist die Ausbildung selbst und der Zeitraum über drei Jahre bezieht sich auf die Arbeitserfahrung außerhalb der Lehrwerkstatt.

Tab. 4.3: Verteilung der Auszubildenden nach Alter und Erfahrung mit CNC-Werkzeugmaschinen

Erfahrung mit CNC-Werkzeugmaschinen	Altersgruppen			
	bis 25 J.	26-35 J.	36-45 J.	46-56 J.
bis 6 Monate	46%	29%	14%	11%
über 6 Monate bis 3 Jahre	50%	25%	19%	6%
über 3 Jahre	17%	11%	28%	44%

Die betrachteten CNC-Werkzeugmaschinen wurden entweder speziell für Ausbildungszwecke – also für die gegenwärtigen und zukünftigen Anforderungen - beschafft oder wurden von Maschinenherstellern im Sinne von Ausstellungsstücken zur Verfügung gestellt. Damit kann davon ausgegangen werden, dass die hier betrachteten CNC-Werkzeugmaschinen mit den angebauten Steuerständen dem Stand der modernen CNC-Technik entsprachen.

Dabei kamen CNC-Werkzeugmaschinen unterschiedlicher Bearbeitungsverfahren und Steuerungen mit werkstatorientierter Programmierung von vorwiegend drei Herstellern²³ zum Einsatz, die entsprechend Gegenstand der Befragungen waren. Die Steuerung des Herstellers 1 (im Folgenden mit „H1“ bezeichnet) mit werkstatorientierter Programmierung verfügt über eine graphische Oberfläche mit Eingabemasken und weiteren animierten Elementen (Abb. 4.1, Bild links). Die Steuerung des Herstellers 2 („H2“) mit

²² Unter Erstausbildung wird in diesem Fall ein Kursangebot bspw. zur CNC-Fachkraft verstanden, das in der Regel über einen Zeitraum von drei Jahren verteilt ist. Personen älter als 40 Jahre nahmen das Kursangebot mit dem Ziel der Umschulung wahr, um so einen neuen Beruf zu erlernen. Entsprechend gering waren dann auch hier die Zeiträume mit Erfahrungen in der Steuerung von Werkzeugmaschinen.

²³ Da in der Pilotstudie nur allgemeine Informationen zur Gestaltung des Steuerstandes gesammelt wurden, ist die eindeutige Unterscheidung nach Steuerstandard nicht immer möglich gewesen. Für die Auswertung nach der Art des Steuerstandes wurden nur solche Datensätze ausgewählt, bei denen eindeutige Hinweise auf die Art der Steuerung gegeben wurden.

werkstatorientierter Programmierung verfügt ebenfalls über eine graphische Oberfläche und wird durch herstellereigene Funktionen unterstützt (Abb. 4.1, Bild in der Mitte). Die Steuerung des Herstellers 3 („H3“) mit werkstatorientierter Programmierung setzt ein eher erfahrenes Bedienpersonal voraus und besitzt die Möglichkeit der DIN/ISO Programmierung (Abb. 4.1, Bild rechts).



Abb. 4.1: Untersuchte Steuerstände H1, H2 und H3 (v. l. n. r.)

Im Folgenden werden die Ergebnisse dargestellt, welche u. a. anhand der zuvor beschriebenen Gruppen ausgewertet und dargestellt werden. Zudem wird über die Gestaltung der untersuchten Maschinenarbeitsplätze und insbesondere die Gestaltung der Steuerstände sowie deren Bewertung berichtet.

4.1.2 Gestaltung des CNC-Maschinenbedienfeldes

Die ergonomische Gestaltung von visuellen und haptischen Informationen spielt eine wichtige Rolle bei der Herstellung, aber auch bei der Bedienung von modernen CNC-Maschinensteuerständen. Reflexionsfreie Bildschirme, ausreichende Größe von Symbolen und Zeichen sowie von Stellteilen auf dem Bildschirm und/oder Bedienfeld, eine angepasste Arbeitshöhe bei der Arbeitsausführung, entspannte Körperhaltungen u. ä. – all das stellt eine wichtige Voraussetzung für eine zufriedenstellende, effektive und effiziente Arbeit an einer CNC-Werkzeugmaschine im Betrieb dar.

Mit der weiteren Entwicklung des demographischen Wandels besteht bei der Produktgestaltung zunehmend auch die Notwendigkeit, die Fähigkeiten älterer Menschen verstärkt zu berücksichtigen. Dabei kommt neben der ergonomischen Gestaltung der Hardware-Elemente der Gestaltung der softwarebasierten Oberfläche eine entscheidende Rolle zu. Auch hierzu wurden einige, eher grundlegende Informationen erfasst.

So konnten keine Unterschiede in der Bewertung der Bedienerführung zwischen den befragten Personen mit unterschiedlicher Erfahrung festgestellt werden (Abb. 4.2). Jedoch wies etwa jeder dritte Befragte auf Schwierigkeiten beim Verständnis der Bedienerführung hin. Allerdings zeigte die Auswertung nach Altersgruppen deutlichere Unterschiede in der Beurteilung der Bedienerführung auf. Hier gaben lediglich 9% der Personen bis 25 Jahren gegenüber 29% der Personen älter als 45 Jahre an, Schwierigkeiten bei der Bedienerführung zu haben.

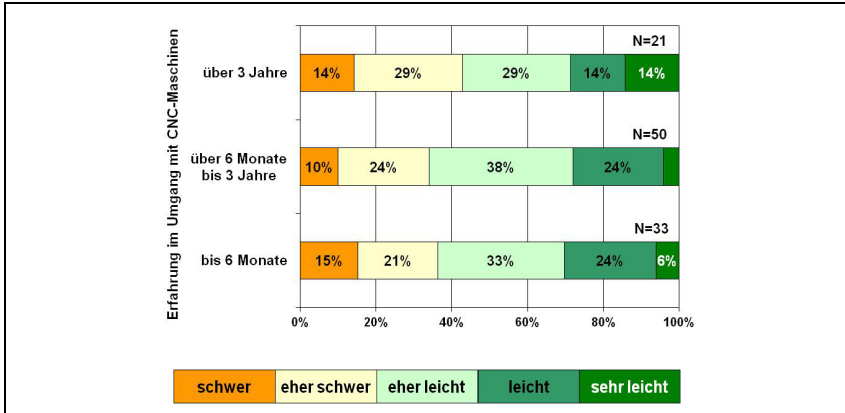


Abb. 4.2: Beurteilung der Bedienerführung während der Bedienung einer CNC-Maschine von Personen mit unterschiedlich langer Erfahrung

Auch die Interaktionssysteme unterschiedlicher Steuerungshersteller bereiteten für die Auszubildenden Schwierigkeiten beim Erlernen neuer Systeme. Wie Abb. 4.3 zeigt, beurteilten 80 % der befragten Personen die Bedienung der Steuerung mit DIN/ISO-Programmierung (H3) zu Beginn der Ausbildung als „eher schwer“ bis „sehr schwer“. Im Vergleich dazu wiesen die Steuerungen H1 mit der Programmierung durch Eingabemasken und H2 mit der Programmierung durch herstellerepezifische Funktionen mit 48% bzw. 53% deutlich geringere Werte auf.

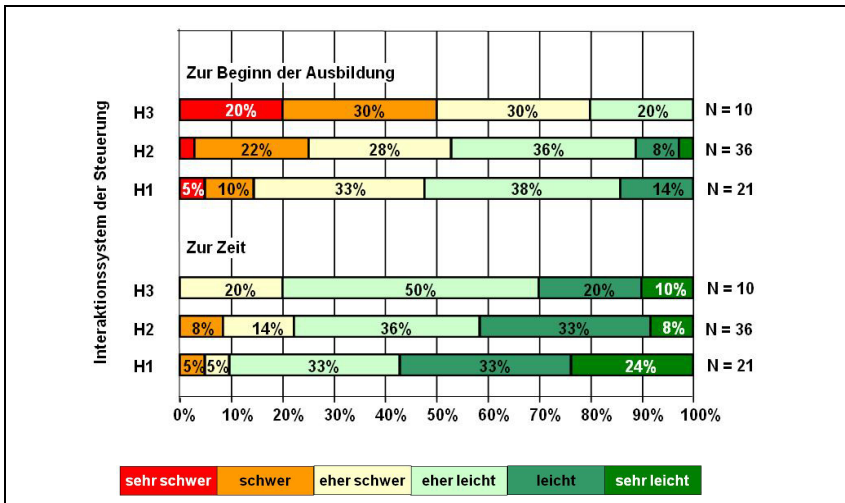


Abb. 4.3: Beurteilung der Bedienung von CNC-Maschinen in Bezug auf unterschiedliche Steuerungshersteller

Demgegenüber wurde die momentane Bedienung von Steuerungen unterschiedlicher Hersteller überwiegend als „eher leicht“ bis „sehr leicht“ eingeschätzt, wobei die Bedienung der Steuerung H1 den höchsten Anteil positiver Beurteilungen aufwies. Allerdings schien Steuerung H3 schneller erlernbar zu sein als die Steuerungen H1 und H2.

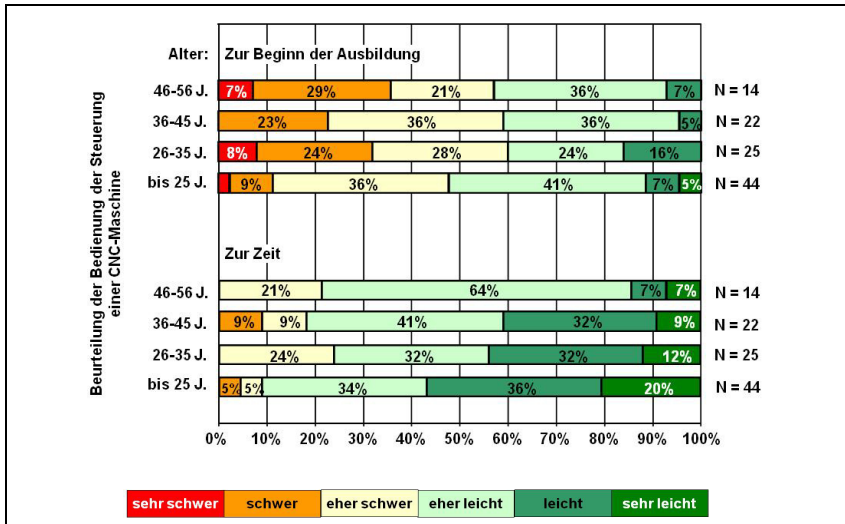


Abb. 4.4: Beurteilung der Bedienung einer CNC-Maschine zu Beginn und zur Zeit der Ausbildung

Wie man aus Abb. 4.4 (Bild oben) entnehmen kann, bestanden zwischen den verschiedenen Altersgruppen zu Beginn der Ausbildung eher geringe Unterschiede in der Beurteilung der Bedienung von CNC-Steuerung. Danach beurteilte etwa jede dritte Person in den Altersgruppen älter als 25 Jahre die Bedienung zu Beginn der Ausbildung als „schwer“ bis „sehr schwer“ gegenüber 11% der Auszubildenden im Alter bis 25 Jahren. Die momentane Bedienung der Steuerung wurde von den Personen bis 25 Jahren mit unterschiedlicher Erfahrung als (eher) leicht im Vergleich zu den Personen anderer Altersgruppen beschrieben (Abb. 4.4, Bild unten).

Weiter beurteilte jede dritte Person die Bedienung der Steuerung als (eher) schwer. Lediglich Personen älter als 45 Jahre und mit einer mindestens dreijährigen Erfahrung in der Bedienung von CNC-Werkzeugmaschinen schätzten diese überwiegend als „eher leicht“ bis „sehr leicht“ ein.

Die Ausbildung in den Lehrwerkstätten bot eine Um- und Weiterqualifizierungsmöglichkeit für Personen mit unterschiedlichen Erfahrungshintergründen an. So zeigten Auswertungen, dass Personen mit Erfahrungen in der Bedienung anderer, in dieser Untersuchung nicht betrachteten Steuerständen die Bedienung von CNC-Maschinen zu Beginn der Ausbildung in ähnlicher Weise oder teilweise sogar schwieriger beurteilten als Personen, die

Erfahrungen ausschließlich mit Steuerungen H1, H2 und/oder H3 haben oder hatten (vgl. Abb. 4.5).

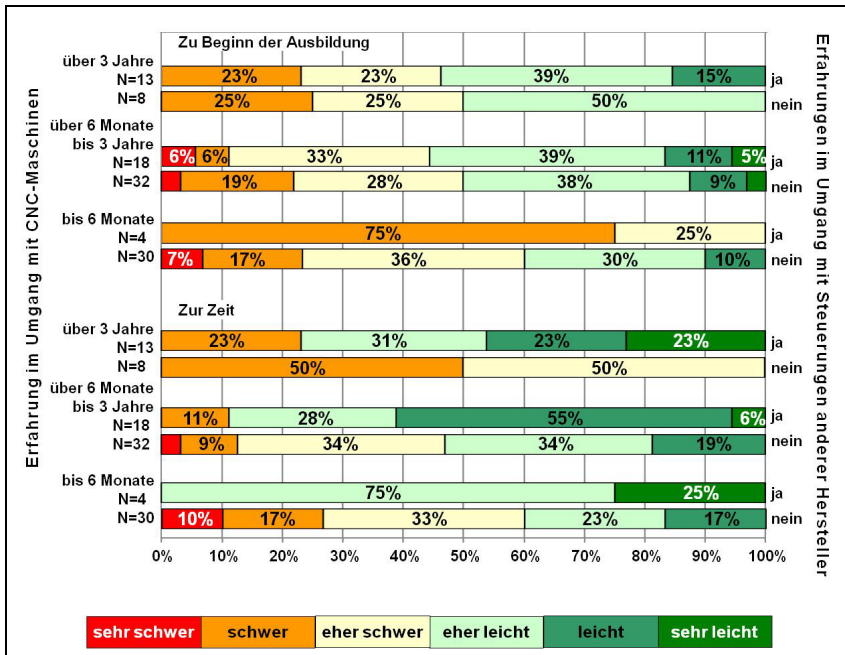


Abb. 4.5: Vergleich der Beurteilung der Bedienung von CNC-Maschinen von Personen mit und ohne Erfahrung mit anderen, in dieser Untersuchung nicht betrachteten Steuerständen

Hingegen änderte sich die Situation bei der Bewertung des momentanen Empfindens bei der Bedienung einer CNC-Maschine. Die Personen mit Erfahrungen an anderen Steuerständen beurteilten die momentane Bedienung von Steuerständen öfter als leicht im Vergleich zu den Personen, die diese Erfahrungen nicht besaßen. Zudem konnten bei diesen Personen keine wesentliche Verbesserung in der Beurteilung der Bedienung festgestellt werden. Diese Tendenz bezog sich auf Personen mit unterschiedlicher Erfahrung. Zudem wurden bei den Befragten mit einer Erfahrung in der Arbeit mit CNC-Maschinen über 3 Jahren sogar leicht verschlechterte Werte beobachtet.

4.1.2.1 Gestaltung von Informationen auf dem Bildschirm

Die Auswertungen zur Gestaltung von Informationen auf dem Bildschirm zeigten, dass Personen älter als 45 Jahre die Darstellung von visuellen Informationen häufiger kritisch beurteilten als Personen bis 25 Jahre. Die Ergebnisse der Untersuchung weisen darauf hin, dass sich die Lesbarkeit von Symbolen und Zeichen vom Bildschirm über die Altersgruppen

verschlechtert. Lediglich 7% der jüngeren Auszubildenden im Vergleich zu 21% der älteren Auszubildenden wiesen darauf hin, hier aktuell Schwierigkeiten zu haben (Abb. 4.6).

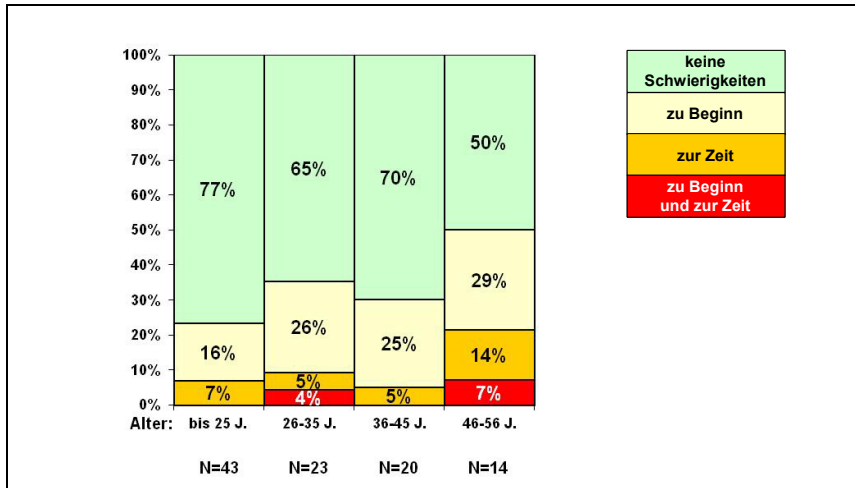


Abb. 4.6: Schlechte Lesbarkeit von Symbolen und Zeichen auf dem Bildschirm

Naturgemäß bestand dabei ein Zusammenhang mit der Zeichengröße und/oder Zeichenart. Die größten Unterschiede sind dabei zwischen Personen bis 25 Jahren und Personen älter als 45 Jahren zu beobachten. Abb. 4.7 zeigt, dass 34% der Personen älter als 45 Jahren und lediglich 12% der jüngeren Auszubildenden bis 25 Jahren dieser Aussage „im Großen und Ganzen“ sowie „voll und ganz“ zustimmten. Diese Tendenz wird auch dadurch bestätigt, dass ausschließlich Probanden älter als 45 Jahre eine bessere Lesbarkeit von Informationen auf dem Bildschirm durch z. B. einen größeren Bildschirm wünschten.

Weitere Erkenntnisse lieferte die Analyse der Daten nach Interaktionssystemen unterschiedlicher Steuerungshersteller. Dabei bleibt die zuvor beschriebene Tendenz zwar erhalten, jedoch stimmen Personen älter als 45 Jahre der Aussage eines schlechten Erkennens von Schriften auf dem Bildschirm bezüglich Schriftgröße und/oder Schriftart bei Steuerung H1 weniger zu. Dagegen wurde dieser Aussage bei der Beurteilung von Steuerung H3 in den meisten Fällen und für Steuerung H2 nur teilweise zugestimmt. Auch die Daten aller Altersgruppen ergaben, dass die Darstellung von Informationen auf dem Bildschirm der Steuerung H1 im Vergleich zu den Steuerungen H2 und H3 am besten wahrzunehmen war (Abb. 4.8, unten). Dies wurde dreimal so häufig bei der Steuerung H2 und doppelt so häufig bei der Steuerung H3 gegenüber der Steuerung H1 berichtet.

Bezüglich der Aussage des schlechten Erkennens der Zeichen auf dem Bildschirm aufgrund von Reflexionen haben 10% der befragten Personen dieser Aussage für die Steuerung H2 zugestimmt. Im Gegensatz dazu, waren die Personen bei der Beurteilung der Steuerungen H1 und H3 mit dieser Aussage lediglich teilweise einverstanden (Abb. 4.8, oben). Außerdem waren statistisch signifikante Unterschiede bei der Beurteilung zwischen den Personen unterschiedlicher Körpergrößen zu beobachten. Hierbei stimmten Personen mit einer

Körpergröße bis 170 cm etwa doppelt so häufig der Aussage der durch Reflexionen erschwerten Wahrnehmung von Informationen auf dem Bildschirm zu als Personen mit einer Körpergröße von über 180 cm.

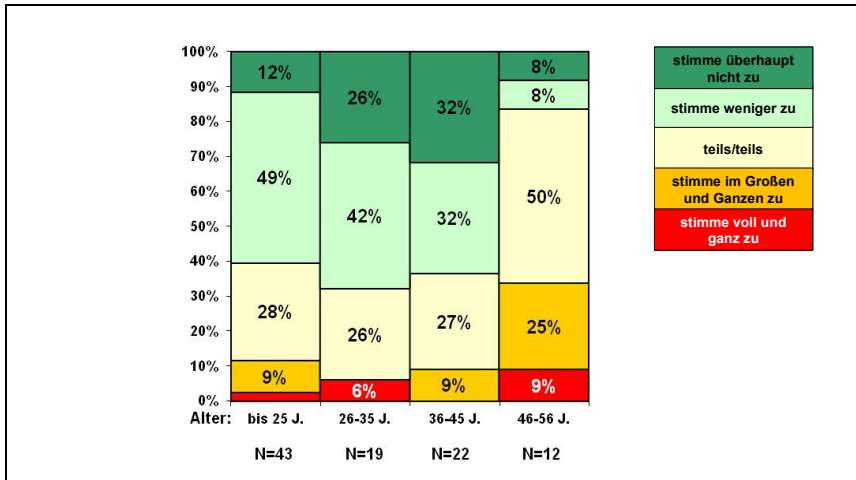


Abb. 4.7: Grad der Übereinstimmung mit der Aussage „Die Schriften auf dem Bildschirm sind wegen der Zeichengröße bzw. Zeichenart schwer zu erkennen.“

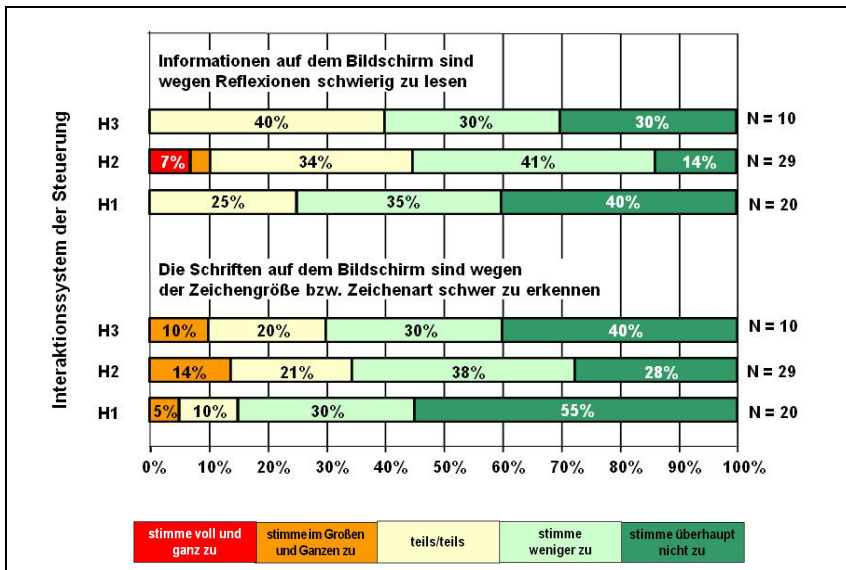


Abb. 4.8: Beurteilung der Wahrnehmung von Informationen auf dem Bildschirm des Bedienfeldes unterschiedlicher Hersteller

4.1.2.2 Gestaltung von Informationen auf dem Bedienfeld

Die Bedienfelder der betrachteten Maschinensteuerstände waren im Wesentlichen ausschließlich aus Software- und Funktionstasten, alphanumerischen Tastaturen sowie Tasten mit maschinenspezifischen Funktionen zusammengesetzt. Bei der Beurteilung der alphanumerischen Tastatur wurde deren ergonomische Gestaltung in 30% der Fälle bemängelt bzw. als unergonomisch eingeschätzt (Abb. 4.9). Als Gründe wurden eine Doppelbelegung, ein schlechter Druckpunkt und/oder eine zu hohe Anordnung auf dem Bedienfeld angegeben. Weiter beurteilten ca. 30% der befragten Personen die Stellteile der Steuerung mit DIN/ISO-Programmierung (H3) als schwer zu betätigen, wodurch auch Fehlbedienungen verursacht wurden.

Eher selten wurde über zusätzliche Eingabehilfen wie Touchscreen oder Maus berichtet. Dort wo vorhanden, wurde der Touchscreen in 69% der Fälle als eher ergonomisch gut gestaltet beschrieben, allerdings wurde das ungewollte Mitauslösen benachbarter Funktionen bemängelt.

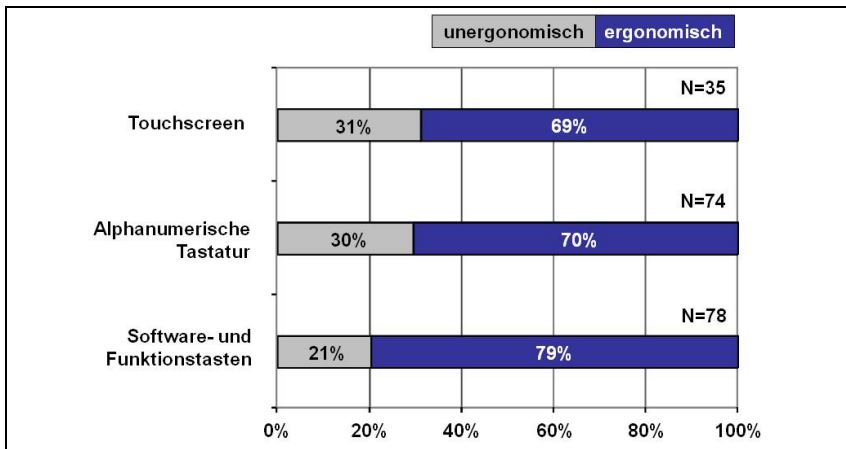


Abb. 4.9: Ergonomische Beurteilung von Eingabegeräten auf den Bedienfeldern

Es wurde zudem beinahe von jeder sechsten Person auf die Gestaltung (z. B. Unterschiede in Größe und Farbe) und Anordnung (z. B. Anordnung der Tasten nach Häufigkeit der Benutzung) der Tasten hingewiesen (siehe auch Abb. 4.9). Auch Soft- und Funktionstasten wurden von 21% der Befragten wegen ihres schlechten Druckpunkts und/oder ihrer Anordnung zueinander als unergonomisch empfunden. Dabei wurde aber auf deren gute Bedienbarkeit, angenehme Größe und gute Unterteilung bei den Tastengruppen hingewiesen.

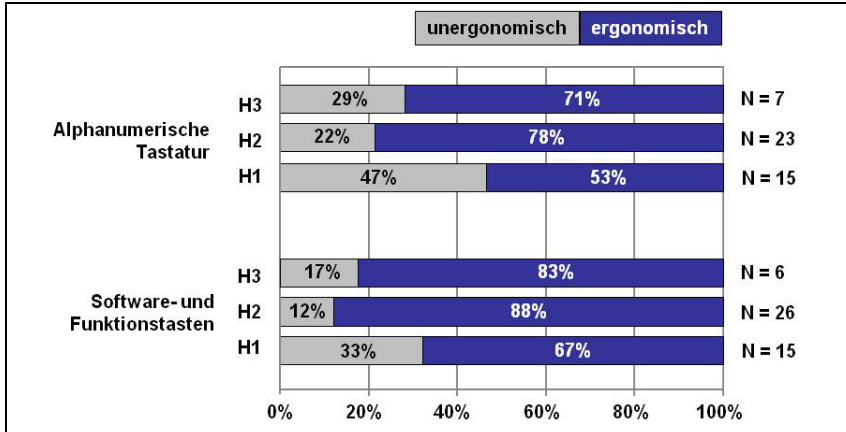


Abb. 4.10: Ergonomische Beurteilung der Gestaltung der Eingabemittel bei drei unterschiedlichen Bedienfeldern

Außerdem konnten nur tendenziell statistische Unterschiede in der Bewertung der Oberflächengestaltung verschiedener Steuerungshersteller festgestellt werden. Demnach wurde die Gestaltung der Software- und Funktionstasten sowie der alphanumerischen Tastatur der Steuerung H2 mit der Programmierung durch herstellersistenspezifische Funktionen generell ergonomisch besser beurteilt als die von H1 und H3 (Abb. 4.10). Dabei wurde oft bei dem Bedienfeld der Steuerung H1 mit der Programmierung durch Eingabemasken auf einen schlechten Druckpunkt hingewiesen. Des Weiteren wurde bei der Beurteilung der Gestaltung des Bedienfeldes der Steuerung H3 auf eine unübliche Anordnung von Stellteilen hingewiesen. Diese war den befragten Personen aus dem Alltag nicht bekannt.

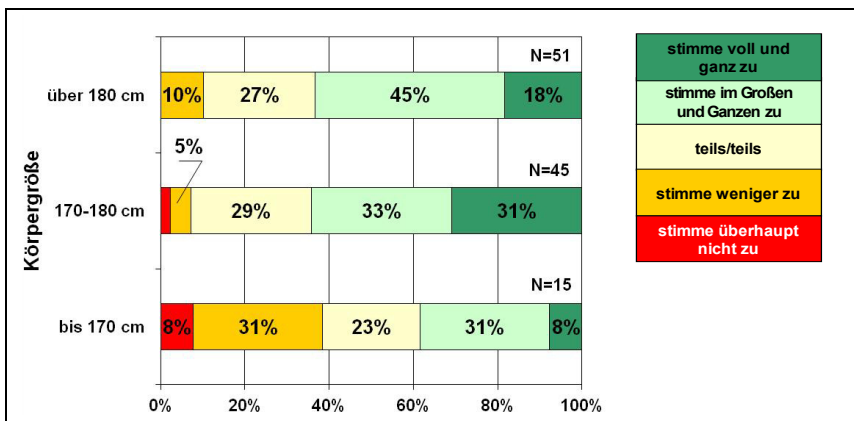


Abb. 4.11: Grad der Zustimmung zu der Aussage „Die Stellteile sind in Bezug auf deren Ausführung (Breite, Länge oder Durchmesser) angenehm zu handhaben.“

In Bezug auf Breite, Länge oder Durchmesser der Stellteile wurden diese von 12% der Befragten als nicht ergonomisch zu handhaben beurteilt (stimme weniger oder überhaupt nicht zu), 27% der Befragten haben zu dieser Aussage eine neutrale Position eingenommen (teils/teils). Eine Auswertung nach der Körpergröße zeigte, dass eher kleinere Personen (mit einer Körpergröße bis 170 cm) gegenüber den größeren (mit einer Körpergröße über 180 cm) die Stellteile auf dem Bedienfeld bezüglich deren Größe öfter als unangenehm zu handhaben beurteilten (Abb. 4.11).

Die Anordnung von Stellteilen auf dem Bedienfeld bereitete auch erfahrenen Auszubildenden nicht selten Schwierigkeiten. Dabei gab jeder zehnte Befragte an, dass die Stellteile so angeordnet seien, dass sie leicht zu verwechseln sind. Selbst unter den Personen, die seit über 3 Jahren mit CNC-Maschinen arbeiteten, kam es immer noch zu Schwierigkeiten mit der Anordnung von Stellteilen (Abb. 4.12). Dabei zeigt sich in der Tendenz ein Anstieg mit steigendem Alter. Wie Abb. 4.13 (Bild oben) zeigt, wiesen 10% der jüngeren im Vergleich zu 36% der älteren Personen auf diesen Sachverhalt hin.

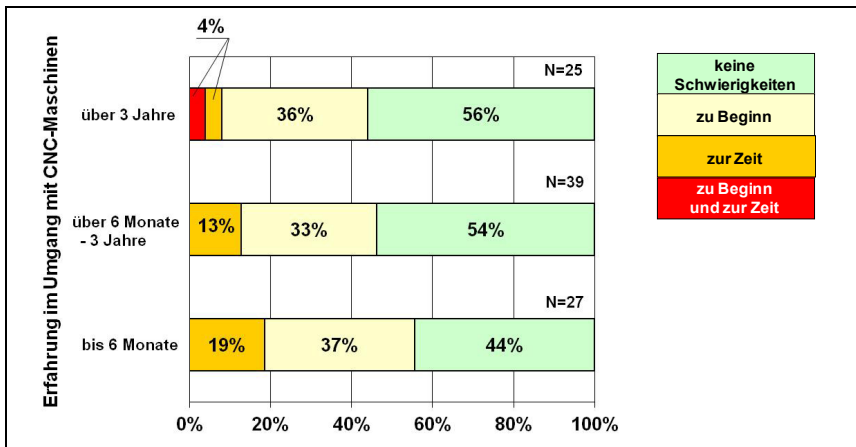


Abb. 4.12: Unklare Anordnung der Stellteile auf dem Bedienfeld bezüglich der Erfahrung im Umgang mit CNC-Maschinen

Ebenfalls ließ sich ein Zusammenhang zwischen den Altersgruppen und der Erkennbarkeit von Symbolen und Zeichen auf dem Bedienfeld feststellen (Abb. 4.13, unten). Dabei konnten signifikante bis hoch signifikante statistische Unterschiede zwischen den Personen über 45 Jahre und den Personen in anderen Altersgruppen beobachtet werden. Demnach empfanden 28% der Personen über 45 Jahre im Vergleich zu 12% der Personen im Alter bis 25 Jahre dies aktuell als problematisch bei der Bedienung einer CNC-Maschine.

Interessanterweise konnten statistisch signifikante Unterschiede zwischen Personen mit Migrationshintergrund und der deutschen Bevölkerung bei der Bewertung der Erkennbarkeit von Symbolen auf dem Bedienfeld festgestellt werden. Dabei gaben 41% der Personen mit Migrationshintergrund gegenüber 20% der Einheimischen an, dass sie anfänglich Schwierigkeiten bei der Erkennung von Symbolen am Bildschirm bzw. Bedienfeld hatten.

Dies spiegelt sich auch in Veränderungswünschen an der Maschine, wie z. B. einheitlichen und mehrsprachigen Steuerungen.

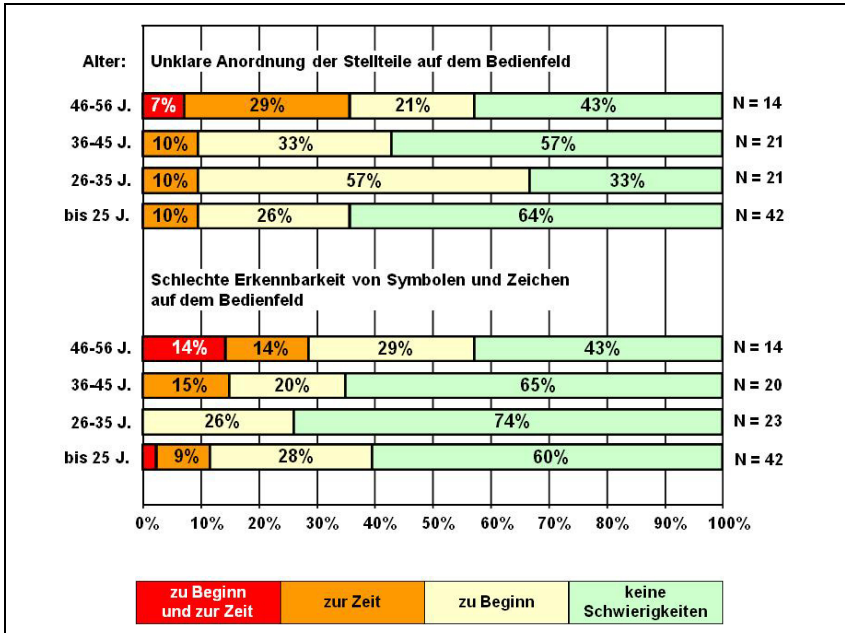


Abb. 4.13: Unklare Anordnung der Stellteilen und Erkennbarkeit von Symbolen auf dem Bedienfeld – Betrachtung verschiedener Altersgruppen

Zudem bereitete Größe bzw. Art der Darstellung von Symbolen auf dem Bedienfeld (Abb. 4.14) Schwierigkeiten bei deren Erkennen. Jede sechste Person über 45 Jahren stimmte dieser Aussage zu, jede zweite nur teilweise. Demgegenüber wurde von Personen der übrigen Altersgruppen die Darstellung von Informationen in etwa 60% positiv beurteilt. Außerdem stimmten die Personen älter als 45 Jahre bei der Bedienung der Steuerungen H1 und H2 nur teilweise dieser Aussage zu, dagegen wurde dieser Aussage bei der Bedienung der Steuerung H3 im Durchschnitt voll und ganz zugestimmt.

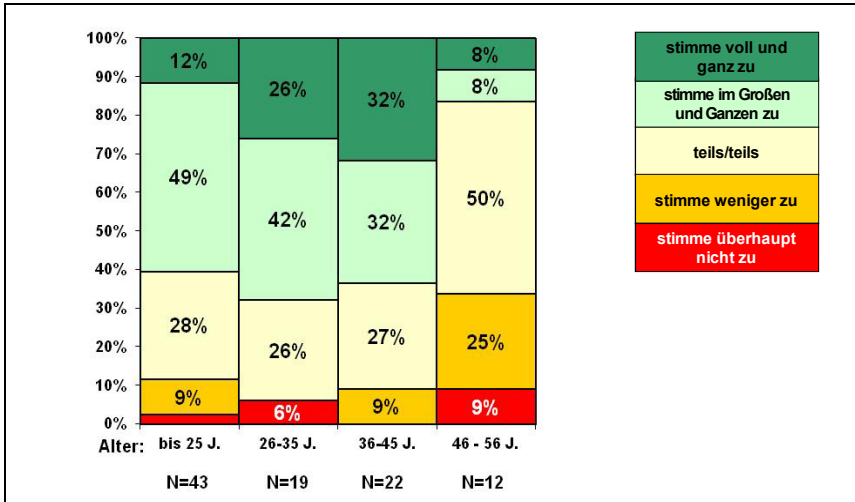


Abb. 4.14: Grad der Zustimmung zu der Aussage „Die Symbole auf dem Bedienfeld sind wegen der Zeichengröße bzw. Zeichenart schwer zu erkennen.“

4.1.3 Gestaltung von Arbeitsplatz und Steuerstand

81% der Befragten in den Lehrwerkstätten gaben in der Befragung an, dass sie an nicht-höhenverstellbaren Steuerständen arbeiteten. Dies begründet, dass 37% aller Befragten die Höhe des Steuerstandes als nicht angemessen für die Arbeit an der jeweiligen Werkzeugmaschine empfanden. Es konnte dabei kein Einfluss der Körpergröße auf die Beurteilung festgestellt werden.

Drei Anordnungen des Maschinensteuerstandes wurden vorgefunden (siehe Abb. 4.15). Eine deutliche Unterteilung ist jedoch nur schwer möglich gewesen, da die Auszubildenden an unterschiedlichen Maschinen arbeiteten und mehr als einen Steuerstand bedienen konnten.

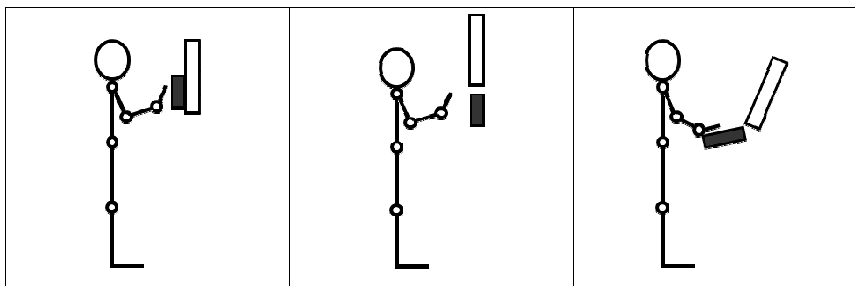


Abb. 4.15: Verschiedene Anordnungen von Maschinensteuerständen

Ergebnisse

In den Ausbildungskursen werden die Auszubildenden für alle üblichen Arbeitstätigkeiten für die Arbeit an CNC-Maschinen vorbereitet. Dies schließt Programmieren und Programmoptimierung der CNC-Steuerung, Einrichten, Rüsten und Bestücken der Werkzeugmaschine, Bedienen und Überwachen des Fertigungsprozesses, Beschicken und Entladen der gefertigten Teile sowie Wartung und Kontrolle ein. Zu den typischen Tätigkeiten, welche die Maschinenführer üblicherweise an den modernen CNC-Maschinen in Betrieben durchführen, gehört auch das Einrichten der Maschine für den Fertigungsprozess, wozu auch das Nullpunktsetzen bei Werkzeugvoreinstellungen gehört.

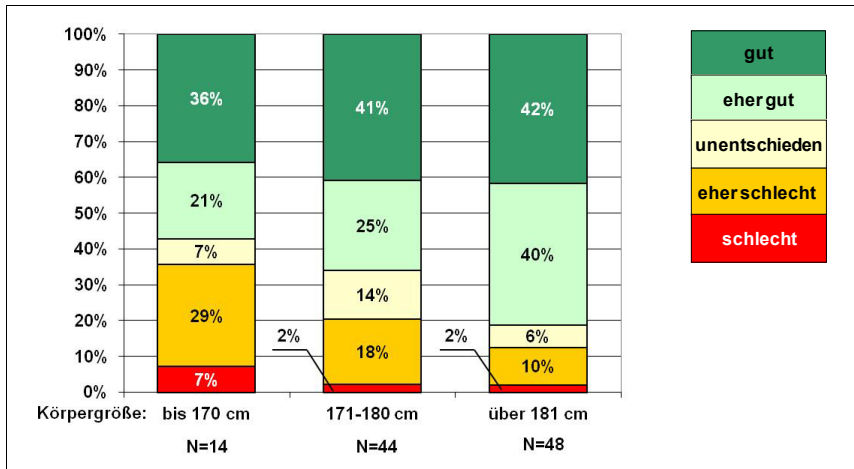


Abb. 4.16: Beobachtung des Fertigungsprozesses vom Steuerstand aus

Etwa 27% aller Befragten in dieser Untersuchung konnten den Fertigungsprozess vom Steuerstand aus nicht gut einsehen, insbesondere eher kleinere Personen mit einer Körpergröße bis 170 cm (Abb. 4.16). Dabei konnten tendenzielle Unterschiede zwischen den Personen mit einer Körpergröße bis 170 cm und größer als 180 cm festgestellt werden. Je geringer die Körpergröße eines Maschinenführers war, umso häufiger wurde die Beobachtung zum Fertigungsprozess als (eher) schlecht eingeschätzt.

Bei den Auswertungen konnten geringe, aber hoch bis höchst signifikante statische Zusammenhänge in der Beurteilung der Höhe des Steuerstandes sowie der Gestaltung und der Anordnung zum Arbeitsplatz festgestellt werden. Dabei zeigte sich u. a. auch, dass lediglich 52% der Befragten die Höhe des Steuerstandes als angemessen für die Arbeit an der CNC-Maschine empfanden. Diese Personen bestätigten auch, dass der von ihnen bediente Steuerstand für die Arbeit an der entsprechenden Maschine geeignet ist. Außerdem beeinflusste dies positiv die Beurteilung der Beobachtung des Bearbeitungsprozesses im Fertigungsraum vom Steuerstand aus (Abb. 4.17, oben). Personen, die die Höhe des Steuerstandes für angemessen hielten, beurteilten auch die Einsicht in den Fertigungsraum meist positiv (82%) gegenüber den Personen, die die Höhe als unangemessen einschätzten (62%).

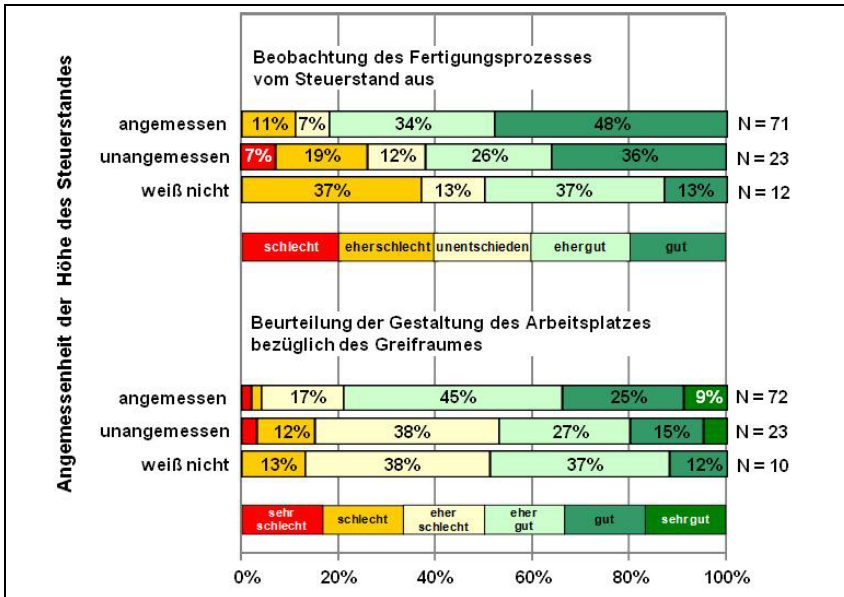


Abb. 4.17: Beurteilung der Beobachtung des Fertigungsprozesses sowie der Gestaltung bezüglich des Greifraumes nach Angemessenheit der Höhe des Steuerstandes

Die gleiche Tendenz war auch bei der Beurteilung des Greifraums zu beobachten. Personen, die mit der Höhe des Steuerstandes zufrieden waren, beurteilten auch in 79% der Fälle die Gestaltung des Greifraums positiv (Abb. 4.17, unten). Über alle Antworten betrachtet beurteilten mehr als ein Drittel der befragten Personen den Greifraum (eher) schlecht. Allerdings konnte kein Zusammenhang zwischen der Beurteilung des Greifraums und der Körpergröße festgestellt werden.

4.1.4 Fehlbedienungen während der Arbeit an einer CNC-Maschine

Wenig überraschend ist zweifellos, dass die Fehlbedienungen in den ersten Monaten der Ausbildung öfter auftreten als in den späteren Phasen der Ausbildung. Die Ausbildungsleiter wiesen darauf hin, dass es besonders wichtig ist, noch in der Ausbildungszeit die Angst vor Fehlbedienungen sowie Hemmungen aufgrund teurer Maschinen und Werkzeuge möglichst abzubauen.

Bedienfehler können nicht nur zu erheblichen materiellen Schäden führen, sondern sie können auch eine Gefahr für das Leben der Maschinenführer darstellen. Tab. 4.4 zeigt hierzu eine Auswertung nach Art und Ursache von Fehlern sowie deren Folgen. Für Personen in der Ausbildung ohne spezifisches fachliches Wissen kam es oft zu Fehlern bei der Programmierung, der Eingabe von falschen Daten oder des fehlerhaften Setzen des Nullpunktes. Hierzu gaben die befragten Personen an, dass auch Bedienungsfehler öfter auftraten. Als Ursache dafür wurde beispielsweise die Verwechslung von nebeneinander

liegenden Knöpfen, zu schwere oder zu schnelle Betätigung von Tasten genannt. Bei rechtzeitigem Erkennen der Auslösung des falschen Menüs oder der falschen Funktion können diese Fehler noch korrigiert werden. Jedoch kann ein Bedienfehler beispielsweise beim Einrichten der Maschine zur Werkstückbeschädigung oder sogar zum Maschinenstopp führen.

Tab. 4.4: Häufigkeit von Fehlbedienungen, Auswertung nach Ursachen und Folgen

Folge Ursache	Werkstück defekt	Werkzeug defekt	Vorrichtung beschädigt	Aus- schuss	Maschinen -stopp	ohne Folgen
Werkzeug- daten falsch	3	3	3	2	1	3
Programmier- fehler	2	3	1	3	1	5
Spandruck falsch	3	2	1	1	-	3
Nullpunkt falsch	3	2	-	2	-	3
Plus/Minus verwechselt	1	2	-	1	1	-
Messdaten falsch	-	1	-	4	-	2
Bedienfehler	1	-	-	-	1	6
Falsches Werkzeug	1	1	1	1	-	-
Zeitdruck	1	1	1	-	-	-
Summe	15	15	7	14	4	22

Bedienfehler kamen bei allen drei Bedienfeldern der betrachteten Steuerungen vor. Die befragten Personen wiesen darauf hin, dass diese häufig durch einen schlechten Druckpunkt (zu leicht oder zu schwer) der Stellteile verursacht wurden. Fehlbedienungen wie nicht korrekte Werkzeugdaten und Programmierfehler traten am häufigsten auf (Tab. 4.4) und hatten beschädigte Werkstücke, Werkzeuge, Vorrichtungen und Ausschuss oder Maschinenstopp zur Folge.

4.1.5 Gestaltung bezüglich körperlicher Belastungen

Die Bedienung einer CNC-Maschine wird vorwiegend im Stehen durchgeführt. Von daher ist ein an den Bediener angepasster Arbeitsplatz eine wichtige Voraussetzung bei der Arbeitsplatzgestaltung, um belastende Körperhaltungen zu vermeiden.

In den untersuchten Lehreinrichtungen verbrachten die Auszubildenden bei einem normalen achtstündigen Ausbildungstag²⁴ durchschnittlich 1-2 Stunden im Sitzen. Ihre Körperhaltungen während der Programmier- und Steuerungsprozesse beurteilten 60% der befragten Personen als eher bis sehr angespannt. Dabei wurden zwischen Personen unter 25 Jahre und älter als 45 Jahre signifikante Unterschiede festgestellt. Überraschenderweise beurteilten jüngere Auszubildende ihre Körperhaltung häufiger als anstrengend als die Auszubildenden älter als 45 Jahre.

Die Auswertungen zeigten, dass zwischen der Beurteilung der Höhe des Steuerstandes und der Anordnung zum Arbeitsplatz sowie der Gestaltung des Arbeitsplatzes geringe aber hoch bis höchst signifikante statistische Zusammenhänge bestanden. Außerdem beurteilten lediglich 52% der befragten Personen die Höhe des Steuerstandes als angemessen für die Arbeit an der CNC-Werkzeugmaschine. Diese Personen bestätigten auch, dass der jeweilige Steuerstand für die Arbeit an der entsprechenden Maschine geeignet ist.

Die Auswertungen weisen auf mögliche Zusammenhänge zwischen der subjektiven Beurteilung der Angemessenheit der Höhe des Steuerstandes, der Beurteilung der Körperhaltungen und der Beurteilung der Arbeit bezüglich körperlicher Belastungen hin. Hierbei zeigt Abb. 4.18 (Bild oben) deutlich, dass diejenigen Personen, die die Höhe des Steuerstandes als unangemessen einschätzten, auch in 74% der Fälle ihre Körperhaltung als eher gespannt bis sehr gespannt beurteilten im Vergleich zu 50% der Befragten, die diese als angemessen beurteilt haben.

²⁴ Ein Ausbildungstag entspricht einem üblichen 8-stündigen Arbeitstag. Je nach der Lehreinrichtung dauerte dieser von 7.30-16.00 Uhr.

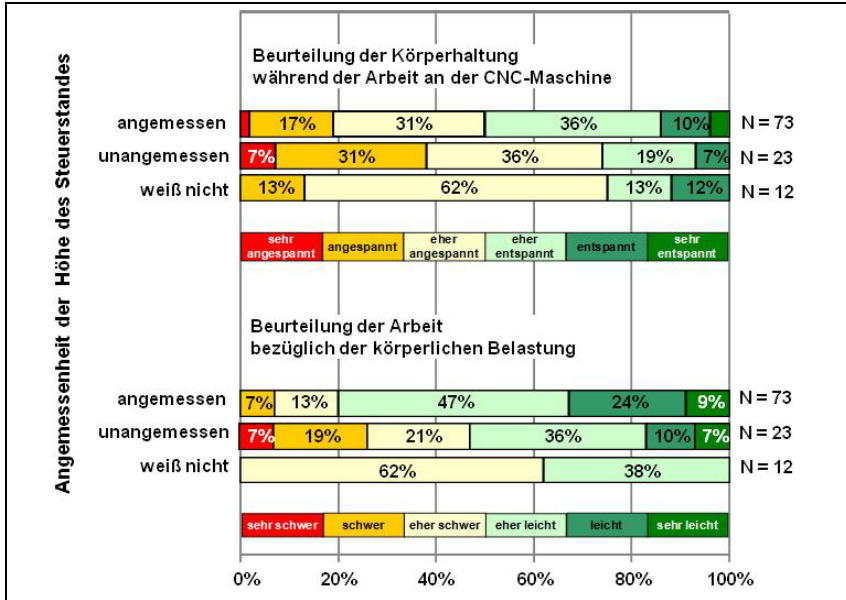


Abb. 4.18: Beurteilung der Körperhaltung und der körperlichen Belastung nach Angemessenheit der Höhe des Steuerstandes

Außerdem fiel die Arbeit an CNC-Maschinen bezüglich körperlicher Belastungen den jüngeren Personen schwerer als den Auszubildenden älter als 45 Jahre, die diese überwiegend als eher leicht bewerteten. Über alle Antworten betrachtet hat jeder dritte der befragten Personen die Arbeit bezüglich körperlicher Belastungen als „eher schwer“ bis „sehr schwer“ empfunden. Hierbei konnte auch eine Verbindung in der Beurteilung der Angemessenheit der Höhe des Steuerstandes festgestellt werden. Aus Abb. 4.18 (Bild unten) folgt, dass diejenigen Personen, die die Höhe des Steuerstandes als unangemessen beurteilt haben, die Gestaltung der Arbeit bezüglich körperlichen Belastungen doppelt so oft als (eher) schwer beurteilten als Personen, die die Höhe als angemessen empfunden haben.

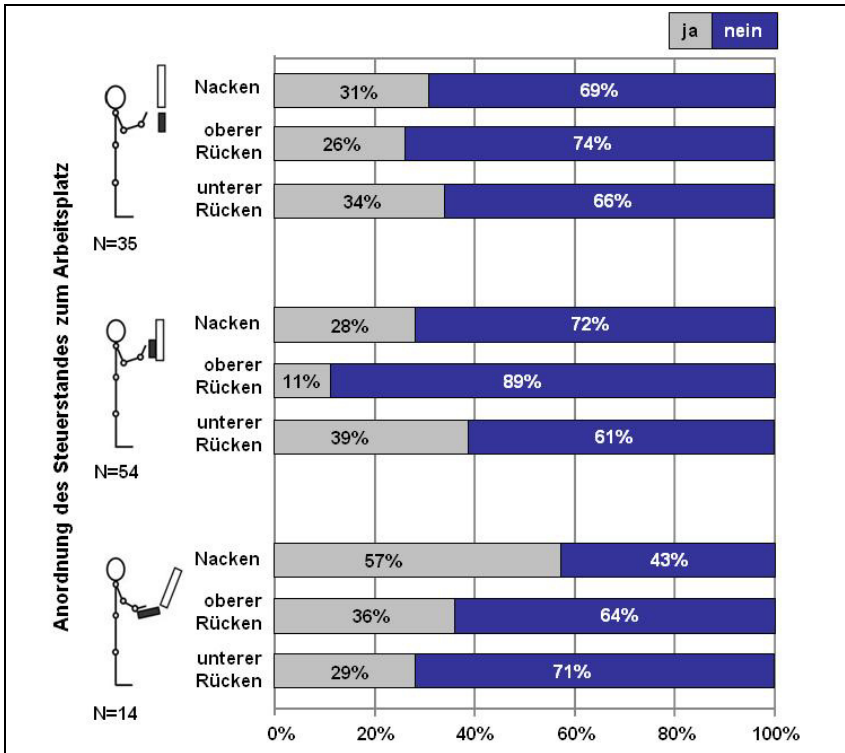


Abb. 4.19: Ermittelte Beschwerden in verschiedenen Körperbereichen abhängig vom Steuerstandaufbau

Die Befragung schloss u. a. auch Fragen bezüglich von Erkrankungen bzw. Beschwerden des Muskel-Skelett-Systems ein, wie z. B. im Bereich des Nackens, der Hände, des oberen und unteren Rückens etc. (vgl. zusätzlich Anhang 1). Hierzu zeigt Abb. 4.19 die Ergebnisse einer Auswertung körperlicher Beschwerden im Bereich des Nackens, des oberen und unteren Rückens nach Anordnung des Steuerstandes an dem Gehäuse der CNC-Maschine. Den Ergebnissen zufolge entstanden deutliche Unterschiede bei der Auswertung nach der Körpergröße und der Art des Aufbaus des Steuerstandes. Im Fall des Steuerstandes mit dem höheren Aufbau des Bedienfeldes (vgl. Abb. 4.19, Bild oben) berichtete in allen drei Körperregionen etwa jede dritte Person über Beschwerden. Dagegen gaben ausschließlich Personen mit einer Körpergröße über 180 cm bei dem tiefer aufgebauten Steuerstand Beschwerden im Bereich des Nackens an (Abb. 4.19, Bild unten). Beschwerden im Bereich des oberen und unteren Rückens wurden von Personen aller Körpergrößengruppen berichtet. Im Vergleich dazu gaben überwiegend Maschinenführer mit einer Körpergröße über 180 cm an, bei der mittleren Art des Bedienfeldes (Abb. 4.19, Bild in der Mitte) Beschwerden im unteren und oberen Rücken zu haben.

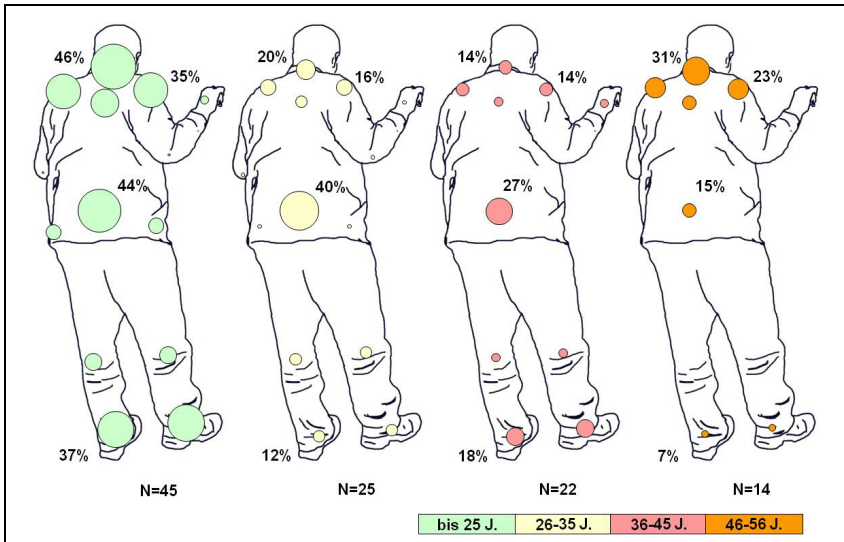


Abb. 4.20: Beschwerden des Muskel-Skelett-Systems der befragten Personen während der Arbeit an einer CNC-Maschine²⁵.

Wie aus Abb. 4.20 erkennbar ist, nannten eher jüngere Personen (bis 25 Jahre) am häufigsten Beschwerden in allen abgefragten Bereichen. Außerdem konnte festgestellt werden, dass Beschwerden im Bereich des Nackens und des unteren Rückens in allen Altersgruppen am häufigsten genannt wurden.

4.1.6 Anregungen für Veränderungen aus der Sicht der Befragten

Auch Anregungen zu möglichen Änderungen der Arbeitsplatzgestaltung wurden erfasst. So wurde gefragt, welche (sinnvollen) Änderungen in der Gestaltung von Maschinensteuerstand und Arbeitsplatz insgesamt die Befragten sich vorstellen können. Am häufigsten wurde auf die Änderungen in der Gestaltung des Bedienfeldes bzw. Bildschirms (z. B. Gestaltung größerer Tasten) und zum Arbeitsplatz (z. B. Höhenverstellbarkeit) sowie auf eine Sitzhilfe hingewiesen (Tab. 4.5).

²⁵ Die Größe der Kreise in der Abbildung beschreiben die prozentuale Verteilung der Antworten und sind maßstäblich dargestellt. Sie beziehen sich jeweils auf die prozentuale Verteilung innerhalb der betrachteten Gruppe, wobei Mehrfachantworten möglich waren (vgl. Anhang 1).

Tab. 4.5: Anregungen für Veränderungen am Arbeitsplatz aus der Sicht der Befragten

Aspekte	Anzahl Nennungen
Gestaltung des Bedienfeldes / Displays (Tastengröße / Beschriftung / Beleuchtung / Farbe / Anordnung)	16
Höhenverstellbarkeit des Steuerstandes / Sicht in den Arbeitsraum	14
Sitzgelegenheit / Stehstuhl / Rückenlehne am Steuerstand	13
Benutzerfreundlichkeit allgemein	5
Software / Menüführung	4
Sonstiges	11

Zudem konnte ein deutlicher Unterschied bei der Thematisierung von Problemen in den verschiedenen Altersgruppen festgestellt werden. Die befragten Personen im Alter bis 25 Jahren gaben vor allem Veränderungen bei der farblichen Gestaltung von Tasten, der Bereitstellung einer Sitzhilfe und eine einfache Bedienung vom Steuerstand zum besseren Verständnis an. Demgegenüber wiesen Personen über 45 Jahre vor allem auf bessere Lesbarkeit auf dem Bildschirm, auf größere Tasten bzw. größeren Bildschirm und eine bessere Tastenanordnung hin. Weiter wurde auch auf die Gestaltung von Steuerständen für Linkshänder sowie multilinguale Steuerungen hingewiesen.

4.1.7 Ableitung von Arbeitshypothesen

Die in der Pilotstudie gewonnenen Ergebnisse zeigen Schwachstellen sowohl in der allgemeinen Bedienung der Steuerung als auch in der Gestaltung des CNC-Steuerstandes. Hierbei haben die befragten Personen auf Probleme in der allgemeinen Gestaltung des Arbeitsplatzes hingewiesen. Die in der Höhe nicht verstellbaren Steuerstände sorgten dafür, dass die Personen die Höhe öfter als unangemessen bewertet haben. Als Konsequenz hieraus wurde die Arbeitsgestaltung, wie z. B. die Sicht in den Fertigungsraum und die Gestaltung des Greifraums ebenso wie die Körperhaltungen und die Arbeit bezüglich körperlicher Belastungen nicht selten negativ beurteilt. Auch Steuerungen unterschiedlicher Hersteller mit verschiedenen Programmiersystemen bereiteten in der Ausbildung Probleme. Dies zeigt sich in der Bewertung der allgemeinen Bedienung, der Bedienungsführung oder der Gestaltung der optischen sowie haptischen Informationsdarstellung. Außerdem wurde auf ungünstige Körperhaltung hingewiesen, welche möglicherweise eine der Ursachen für vermehrte Beschwerden im Bereich des Nackens sowie im Bereich des oberen und unteren Rückens darstellt.

Tab. 4.6: Für die Hauptuntersuchungen definierte Arbeitshypothesen

Arbeitshypothesen	Loop 1	Loop 2	Loop 3
Arbeitshypothese 1: Die Wahrnehmung von Informationen bei Steuerungen unterschiedlicher Hersteller findet auf verschiedene Weise statt.	X		
Arbeitshypothese 2: Die Gestaltung des Arbeitsplatzes erlaubt das Annehmen entspannter Körperhaltungen während der Arbeit an CNC-Maschinen.	X	X	
Arbeitshypothese 3: Mit der Einführung von CNC-Maschinen entstehen auf den modernen Arbeitsplätzen keine hohen körperlichen Belastungen.		X	
Arbeitshypothese 4: Die Maße der Bedienelemente moderner Bedienfeldern entsprechen den anthropometrischen Maßen der aktuellen Bevölkerung.			X

Um die Aussagen aus der Pilotstudie zu objektivieren, wurden in drei Loops Untersuchungen durchgeführt, welche sich schwerpunktmäßig auf die aus den Ergebnissen der Pilotstudie ausgearbeiteten Arbeitshypothesen stützen (Tab. 4.6).

Die nachfolgenden Ausführungen zeigen die Ergebnisse der einzelnen Loops und die Auswirkungen im Hinblick auf die Arbeitshypothesen. Erläuterungen zu den durchgeführten Untersuchungen finden sich in den Abschnitten 3.2 (Loop 1), 3.3 (Loop 2) sowie 3.4 (Loop 3).

4.2 Ergebnisse aus Loop 1 „Eye-Tracking“

4.2.1 Beschreibung des untersuchten Kollektivs und Arbeitsmitteln

An dieser Untersuchungsphase nahmen 24 männliche Personen teil, die an einem Kurs zur „CNC-Fachkraft“ in der Lehrwerkstatt teilgenommen haben. Dabei wurden die Daten für die Auswertung nach den Ergebnissen aus der Pilotstudie in zwei Altersgruppen unterteilt (Tab. 4.7).

Tab. 4.7: Unterteilung in die Altersgruppen

Altersgruppe	Anteil (Anzahl)
bis 35 Jahre	46% (11)
über 35 Jahre	54% (13)

Tab. 4.8: Unterteilung nach Erfahrung

Erfahrung	Anteil (Anzahl)
unter 6 Monate	58% (14)
6 Monate bis 3 Jahre	17% (4)
über 3 Jahre	25% (6)

Die erste Gruppe schloss eher jüngere Personen bis 35 Jahren, die zweite entsprechend Personen älter als 35 Jahre ein. Hinsichtlich der Dauer der Erfahrung im Umgang mit CNC-Werkzeugmaschinen wurde die gleiche Gruppenzuordnung wie bereits in der Pilotstudie vorgenommen (Tab. 4.8).

Es wurden insgesamt sechs CNC-Werkzeugmaschinen mit Dreh- und Fräsverfahren bedient. Die Werkzeugmaschinen mit Steuerung 1 und Steuerung 2 waren mit werkstatorientierter Programmierung vom Hersteller 1 ausgestattet. Das graphische Interaktionssystem wird mittels Eingabemasken und weiteren animierten Elementen unterstützt (Abb. 4.21, Bild links). Die CNC-Maschinen mit Steuerung 3 und Steuerung 4 waren mit werkstatorientierter Programmierung vom Hersteller 2 ausgestattet. Dabei wird das graphische Interaktionssystem mit herstellersizifischen Funktionen unterstützt (Abb. 4.21, Bild in der Mitte). Die CNC-Werkzeugmaschinen mit Steuerung 5 und Steuerung 6 waren mit werkstatorientierter Programmierung vom Hersteller 3 ausgestattet. Im Unterschied zu den Steuerungen von Hersteller 1 und Hersteller 2 setzen die Steuerungen des Hersteller 3 ein erfahrenes Bedienpersonal voraus und werden in DIN/ISO programmiert (Abb. 4.21, Bild rechts).



Abb. 4.21: Untersuchte Steuerstände H1, H2 und H3 (v. l. n. r.)

Tab. 4.9 zeigt die Anzahl von Personen, die die betrachteten Steuerungen bedient haben. Überwiegend bediente jeder Auszubildende zwei Werkzeugmaschinen mit unterschiedlichen Steuerungen. Einige Auszubildende konzentrierten sich jedoch auf Aufgaben mit einer CNC-Steuerung.

Tab. 4.9: Anzahl der Personen, die entsprechende Steuerungen bedient haben

Steuerungstyp	Anzahl Personen
Steuerung H1	18
Steuerung H2	12
Steuerung H3	10

4.2.2 Erfassung objektiver Daten zur CNC-Steuerstand-Gestaltung

Wie die Auswertungen der Daten aus der Pilotstudie zeigten (vgl. Abschnitt 4.1.5), bewerteten knapp 40% der Personen die Höhe des Steuerstandes als unangemessen für die Arbeit an den jeweiligen Werkzeugmaschinen. Verglichen mit den Personen, die mit der Höhe des Bedienfeldes zufrieden waren, wurde dabei die Körperhaltung, der Greifraum sowie die körperlichen Belastungen allgemein vermehrt negativer eingeschätzt. Andererseits wurde je nach Anordnung des Steuerstandes an der Werkzeugmaschine und in Abhängigkeit von der Körpergröße festgestellt, dass viele Probanden über Beschwerden im Nacken und oberen Rücken berichteten.

In Loop 1 wurde u. a. auch dieser Frage nachgegangen und die Höhe der Bedienelemente in drei Bedienbereichen des Bedienfeldes aufgenommen. Dokumentiert wurde dabei die mittlere Höhe des Mittelfeldes des Bildschirms inkl. Softwaretasten, die mittlere Höhe der alphanumerischen Tastatur bzw. systemdefinierter Funktionen sowie die der Maschinenfunktionen (vgl. auch Abschnitt 3.2.3, Abb. 3.3). Diese Form der Messwertermittlung kann dazu führen, dass einige Bedienelemente und Anzeigen auf dem Bedienfeld bis zu etwa ± 100 mm außerhalb des gemessenen Bereiches liegen. Bezugspunkt für die Höhe der Bedienelemente war jeweils der Bodenrost, dessen Höhe ca. 25 mm betrug. Abb. 4.22 zeigt die Ergebnisse zusammen mit der Augenhöhe der Probanden. Dort, wo sich

Bildschirm und alphanumerische Tastatur in einer Ebene befanden (Steuerung 5 und 6), ist auf der Abbildung nur ein oberer Messpunkt dargestellt.

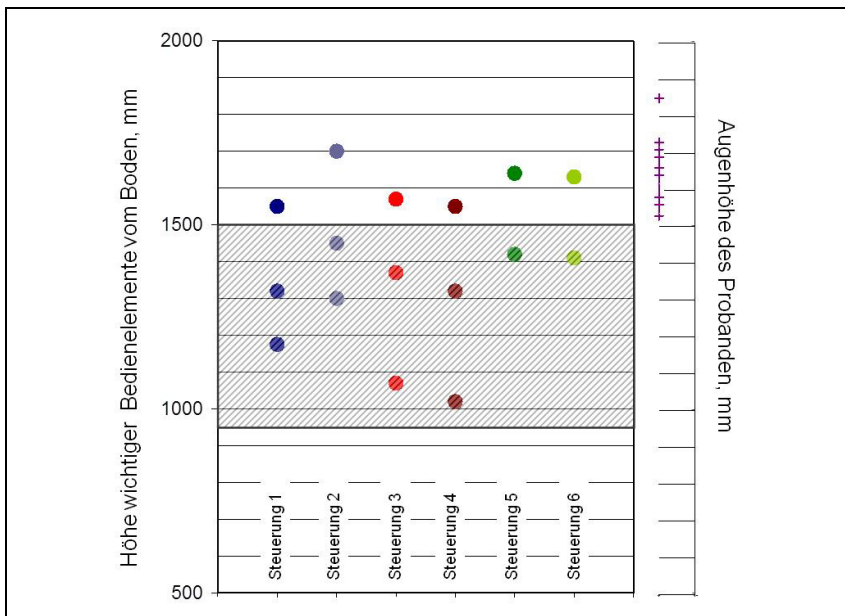


Abb. 4.22: Vergleich der mittleren Höhe wichtiger Bedienelemente auf dem Bedienfeld mit der Augenhöhe der Probanden

Legt man ergonomische Empfehlungen zugrunde (z. B. SCHMIDTKE [1989] und LANGE & WINDEL [2003]), so sollten alle wichtigen und häufig genutzten Bedienelemente zwischen Augenhöhe und Ellenbogen liegen. Dies entspricht dem in Abb. 4.22 grau gekennzeichneten Bereich zwischen 950 mm und 1500 mm. Es fällt auf, dass bei keiner der untersuchten Werkzeugmaschinen der obere Teil des Bedienfeldes – Bildschirm inkl. Softwaretasten bzw. alphanumerische Tastatur – in diesem ergonomisch empfohlenen Bereich angeordnet ist. Ebenso war festzustellen, dass am Steuerstand für i. d. R. länger andauernde Programmierfähigkeiten keine ausreichende Handauflagefläche vorhanden war.

4.2.3 Erfassung objektiver Daten zur Gestaltung des CNC-Steuerstandes

Eine weitere Forderung besteht darin, dass nach VDI/VDE 3850 Teil 1 [2014], DIN EN 894 Teil 4 [2010] und DIN EN ISO 6385 [2004] bei der Anordnung von Elementen auf dem Bedienfeld die Häufigkeit der Bedienung berücksichtigt werden sollte. Hierzu wird im Folgenden das Blickverhalten für jede Steuerungsart betrachtet. Wie die Auswertungen von Videos aus den Eye-Tracking-Untersuchungen zeigten, wies jede Steuerung mit dem jeweiligen Interaktionssystem während des Programmiervorganges von relativ einfachen Teilen unterschiedliche Bedienungsschwerpunkte auf. So liegen – wie Abb. 4.23 darstellt –

Ergebnisse

bei dem Interaktionssystem der Steuerung H1 (WOP mittels Eingabemasken) die Bedienungsschwerpunkte überwiegend im Bereich des Bildschirms inklusive der Softwaretasten.

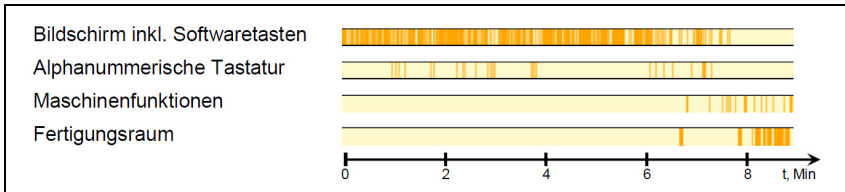


Abb. 4.23: Charakteristisches Blickverhalten der Personen während der Durchführung von Arbeitsaufgaben an den Steuerungen H1 mit der Programmierung durch Eingabemasken

Dem gegenüber weisen die Steuerungen H2 (WOP mit herstellereigenen Funktionen) eine wechselnde Verteilung des Blickverhaltens zwischen den Bereichen Bildschirm und Bedienfeld mit systemdefinierten Funktionen auf. Schwerpunkt bildet auch hier der Blick auf dem Bildschirm mit Softwaretasten (Abb. 4.24). Wie zuvor in Abb. 4.22 dargestellt, liegen diese Bereiche mit häufigem Blickwechsel über und knapp unterhalb der oberen Grenze des empfohlenen Bereiches von 1500 mm.

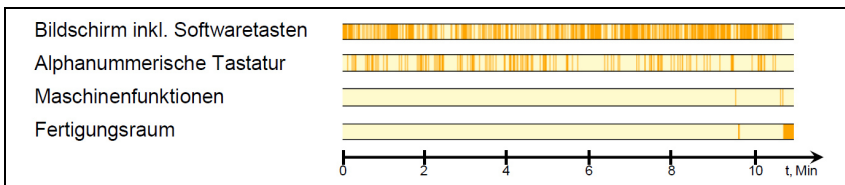


Abb. 4.24: Charakteristisches Blickverhalten der Personen während der Durchführung von Arbeitsaufgaben an den Steuerungen H2 mit der Programmierung durch herstellereigene Funktionen

Abb. 4.25 zeigt das Blickverhalten während der Bedienung der Steuerungen H3 mit DIN/ISO-Programmierung. Dabei ist eine recht gleichmäßige Verteilung des Blickverhaltens auf den Bildschirm und die Alphanumerische Tastatur zu beobachten. In diesem Fall sind die beiden oberen Felder in der gleichen Ebene bei einer mittleren Höhe über 1600 mm angeordnet.

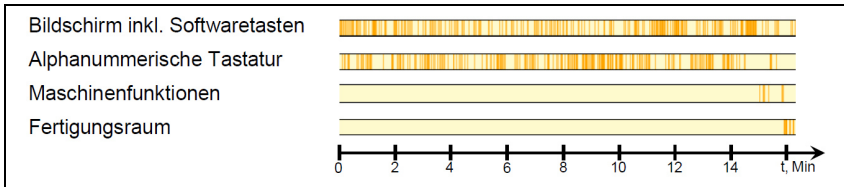


Abb. 4.25: Charakteristisches Blickverhalten der Personen während der Durchführung von Arbeitsaufgaben an den Steuerungen H3 mit der DIN/ISO-Programmierung

Betrachtet man weiter die Aufgabe Programmieren der Nullpunktsetzung, so ist ein anderes Blickverhalten mit anderen Schwerpunkten zu beobachten. Bei dieser Tätigkeit sind nur wenige Kontrollblicke auf den Bildschirm erforderlich, entsprechend häufiger sind Blickwechsel zwischen Fertigungsraum mit längeren Fixationen und den System- und/oder Maschinenfunktionen (vgl. Abb. 4.26). Das hier gezeigte Blickverhalten war typisch für alle Interaktionsarten der untersuchten Steuerungen.

Wie durch die Videoanalyse der durchgeführten Versuche gezeigt werden konnte, stellten sich Fixationen unterschiedlicher Dauer in den verschiedenen Interessensbereichen („Areas of Interest“) sehr unterschiedlich dar. Dabei waren längere Fixationszeiten auf dem Bildschirm meistens durch Beobachtungs- bzw. Entscheidungsprozesse gekennzeichnet. Längere Fixationszeiten auf dem Bedienfeld wiesen dagegen häufig auf Suchprozesse hin (vgl. Abschnitt 4.2.8).

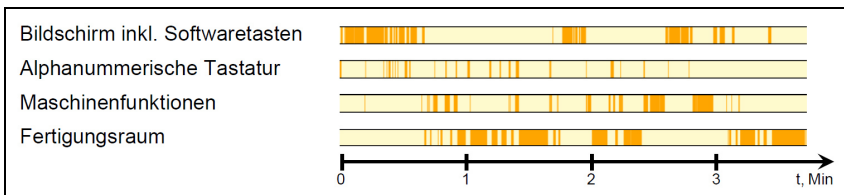


Abb. 4.26: Charakteristisches Blickverhalten der Personen während dem Setzen des Nullpunktes an den Steuerungen H1

Außerdem waren auf den Bildschirmen Schriften unterschiedlicher Größen zu beobachten. Wichtige und bedeutsame Informationen, wie z. B. die Koordinaten des Werkzeuges, waren in größeren, andere Information in kleineren Schriften dargestellt. Die geringsten Schriftgrößen waren auf den Bedienfeldern der Steuerung H2 zu finden (vgl. Tab. 4.10), wobei diese Steuerung als einzige eine individuelle Einstellung der Schriftgröße zuließ. Die Bildschirme der Steuerungen H1 und H3 wiesen etwas höhere Schriftgrößen auf (vgl. Tab. 4.10), allerdings war hier eine individuelle Anpassung der Schriftgröße nicht möglich.

Tab. 4.10: Zeichengrößen auf den Bildschirmen der untersuchten Steuerstände

	Schriftgrößen	
	Wesentliche Informationen	Weitere Informationen
Steuerung H1	7,0 mm	3,8 mm
Steuerung H2	5,5 mm	3,0 mm
Steuerung H3	8,5 mm	3,0 mm

4.2.4 Anordnung des Bedienfeldes am Gehäuse der CNC-Werkzeugmaschine

Eine mehr oder weniger günstige Anordnung der Steuerstände (Höhe, Tiefe, Entfernung zum Fertigungsraum usw.) kann bei Personen abhängig von deren Körpergröße unterschiedlich belastende Körperhaltungen verursachen. Beispielsweise können hoch angeordnete Steuerpulte (vgl. Abb. 4.27 und Abb. 4.28) für Personen mit eher ausgeprägter Körpergröße bei der Bedienung des Steuerpultes durchaus vorteilhaft sein, da sie beim Betrachten der Bedienelemente eine eher entspannte Körperhaltung mit dem Kopf und dem Blick nach unten einnehmen können.

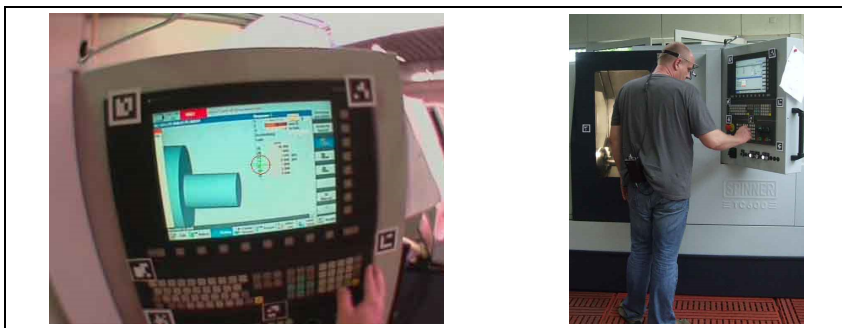


Abb. 4.27: Programmierprozess an einem Bedienfeld der Steuerung H1 eines Probanden mit einer Körpergröße von 197 cm

Die in Abb. 4.27 und Abb. 4.28 dargestellten Personen machen diese Unterschiede deutlich. Personen mit eher kleineren Körpergrößen weisen einen breiteren Sehbereich in der vertikalen Ebene oft oberhalb der Sehachse auf als Personen mit höheren Körpergrößen (vgl. Abb. 4.29). So lag im Fall des Steuerstandes der Steuerung 2 vom Hersteller H2 (vgl. Abb. 4.22 im Abschnitt 4.2.2) bei 83% der Personen der obere Bereich des Bildschirms oberhalb der Sehachse.

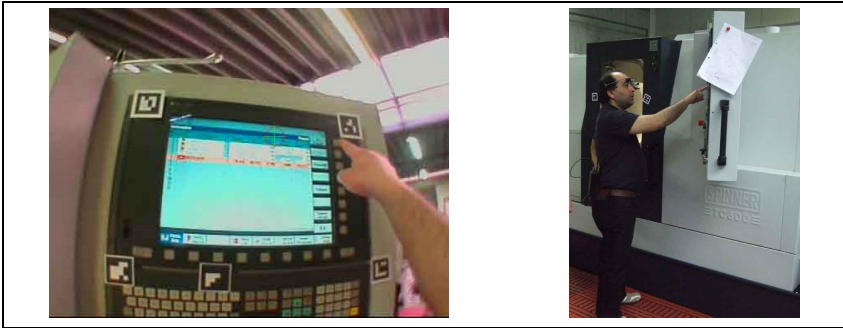


Abb. 4.28: Programmierprozess an einem Bedienfeld der Steuerung H1 eines Probanden mit einer Körpergröße von 165 cm

Eine bessere Höhenanordnung des Bildschirms bezüglich der Körperhaltungen war bei den Steuerungen 1 (Hersteller H1) sowie den Steuerungen 3 und 4 von H3 (vgl. Abb. 4.22 in Abschnitt 4.2.2) zu beobachten. Bei der Bedienung der beiden Steuerungen des Herstellers H3 lag die alphanumerische Tastatur allerdings immer noch bei 50% der Personen oberhalb der Sehachse. Bei den anderen Steuerungen lagen die Bereiche der alphanumerischen Tastatur sowie der Maschinenfunktionen unterhalb der Sehachse in dem empfohlenen Bereich.

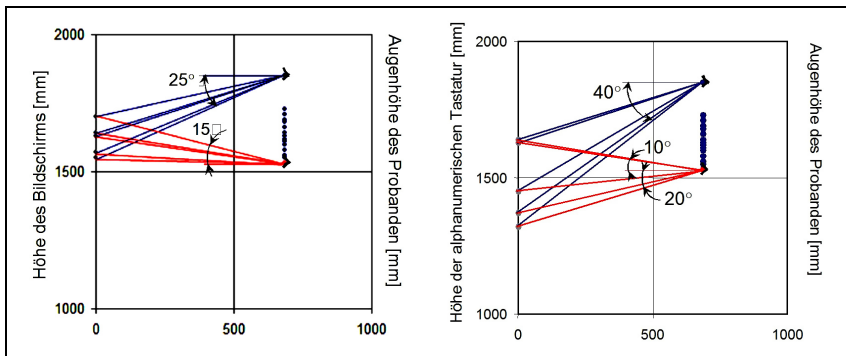


Abb. 4.29: Maximaler vertikaler Sehbereich einer Person mit größter und kleinster Körpergröße bei der Ansicht des Bildschirms und der alphanumerischen Tastatur der CNC-Steuerungen²⁶

²⁶ Der gewählte Abstand zum Bedienfeld wurde aus der Reichweite eines 5-Perzentil Mannes nach DIN 33402 Teil 2 [2005] abgeleitet. Diese entspricht gemittelt etwa 685 mm.

4.2.5 Gestaltung der Bedienelemente auf dem Bedienfeld

Neben der Höhe der am Bedienfeld angeordneten Bedienelemente spielen deren Abmessungen eine entscheidende Rolle bei der Bedienung. Davon kann eine präzise Bedienung der Werkzeugmaschine bei der Einrichtung zum Fertigungsprozess abhängen. Empfehlungen zur Gestaltung von Stellteilen bei Betätigung mit dem Finger oder mit Finger und Daumen sind z. B. in Schmidtke [1989] sowie DIN EN 894 Teil 3 [2010] zu finden. Ein Vergleich der an den betrachteten Steuerungen ermittelten Stellteilmabmessungen ergab, dass die vorgefundenen Maße den Mindestanforderungen entsprechen (Tab. 4.11). Die Abstände zwischen den Drucktasten auf dem Bedienfeld, wie z. B. alphanumerische Tastatur und Tasten für maschinenspezifische Funktionen, wurden je nach Typ des Steuerstandes mit zwischen 4 mm und 6 mm ermittelt.

Tab. 4.11: Abmessungen von häufig benutzten Bedienelementen

	Fingerkontakt		Finger-Daumen-Kontakt	
	Alphanumerische Tasten	Software-Tasten	Drehkopf	Zeigeknopf
Steuerung H1	14 x 14 mm	15 x 15 mm	∅ 30 mm	∅ 60 mm
Steuerung H2	13 x 13 mm	12 x 12 mm	∅ 20 mm	∅ 60 mm
Steuerung H3	15 x 15 mm	6 x 12 mm	25 x 6 mm	∅ 50 mm

Die Videoanalyse der Versuche zeigte, dass bei nahezu allen Probanden während der Durchführung der Arbeitsaufgaben für die Bedienung der Bedienelemente auch der Daumen genutzt wurde (Abb. 4.30). Dies geschieht zum einen deshalb, da die Bedienelemente für einzelne Person relativ weit unten auf dem Bedienfeld angeordnet waren und somit die Bedienung dieser Elemente mit einem anderen Finger eine ungünstige Handposition hervorgerufen hätte.



Abb. 4.30: Bedienung einzelner Elemente mit dem Daumen sowie beidhändige Bedienung

Zum anderen findet die Arbeit an einer CNC-Maschine meistens im Stehen statt. Von daher werden Bedienfelder nicht selten als eine Stützmöglichkeit verwendet, um eine weniger

belastende Körperhaltung einzunehmen. Dabei wird, wo es möglich ist, die Stützposition mit der einen Hand beibehalten und die weiter entfernten Stellteile mit der anderen Hand bedient – es findet also eine beidhändige Bedienung statt (Abb. 4.30, Bild rechts). Interessanterweise war diese Tendenz während der Bedienung der Steuerung 4 vom H2 nicht zu beobachten.

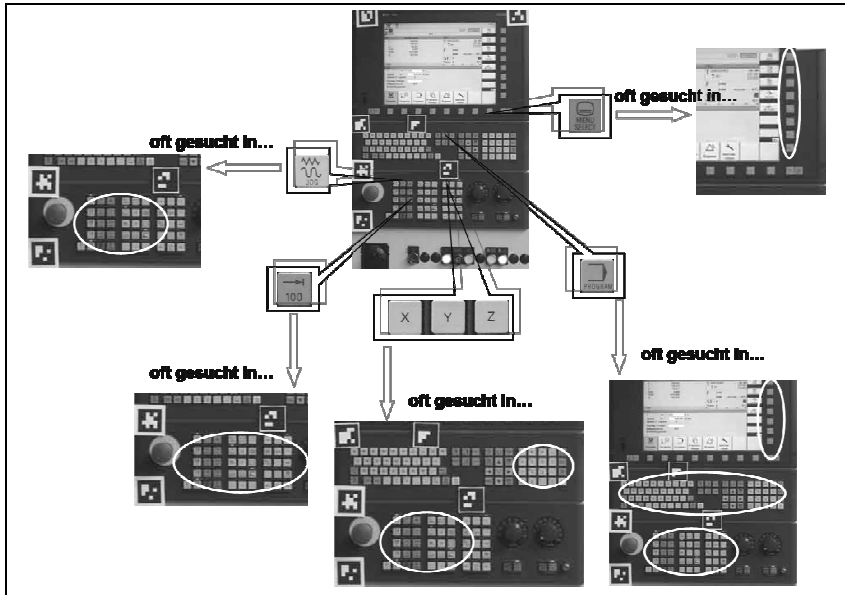


Abb. 4.31: Häufig gesuchte Tasten während der Durchführung von Arbeitsaufgaben auf dem Bedienfeld der Steuerung H1: Jog-Taste, Schrittmaßweite, Achsentasten, Bedienbereichstaste Programm, Menu select (v. l. n. r.)

Im Rahmen der Videoanalyse der Versuche fiel an allen Steuerungen auf, dass relativ viel Zeit für die Suche von Bedienelementen benötigt wurde. So wurde im Fall der Steuerung H1 mit der Programmierung durch Eingabemasken die Taste „Menu select“ häufig gesucht (vgl. Abb. 4.31, erstes Bild v. r.), welche nah dem Bildschirm angeordnet war; ebenso die Taste zur Erstellung eines Teilprogramms (vgl. Abb. 4.31, zweites Bild v. r.). Nach diesen wurde häufig zunächst im Bereich der vertikalen Softwaretasten recherchiert. So wurden auf dem Bedienfeld der Steuerung H1 bei der Suche nach Tasten im Bereich der Maschinenfunktionen Recherchezeiten von bis zu 20 Sekunden ermittelt. Dabei wurden die Tasten für die Betriebsart JOG²⁷ (Abb. 4.31, erstes Bild v. l.) und die Eingabe der Schrittmaßweite (Abb. 4.31, zweites Bild v. l.) zunächst über das ganze Feld der

²⁷ Im JOG-Einrichtbetrieb werden die Achsen der Werkzeugmaschine über die Richtungstaste oder das Handrad konventionell verfahren. Dies wird z. B. beim Setzen von Referenzpunkten benötigt.

Maschinenfunktionen recherchiert bis sie dann schlussendlich ermittelt wurden. Knapp die Hälfte der Personen, die mit der Steuerung H1 gearbeitet haben, recherchierten unter Softwaretasten in unterschiedlichen Programmbereichen. Außerdem wurden die Achsentasten nicht nur in Nachbartastenbereichen, wie im Bereich der Maschinenfunktionen gesucht, sondern auch in Bereich der numerischen Tastatur (Abb. 4.31, Bild in der Mitte).

Dagegen wurde die Eingaben-Übernahmetaste erwartungsgemäß häufig gesucht und zumeist schnell gefunden. Allerdings wurde die Input-Taste auf dem Bedienfeld für die Übernahme der Werte und die Übernahmetaste auf dem Bildschirm während des Eingabeprozesses nicht selten miteinander vertauscht. Dabei wurde die Input-Taste mehrere Male in vielen Versuchen betätigt, um die benötigte Aktion auszulösen.

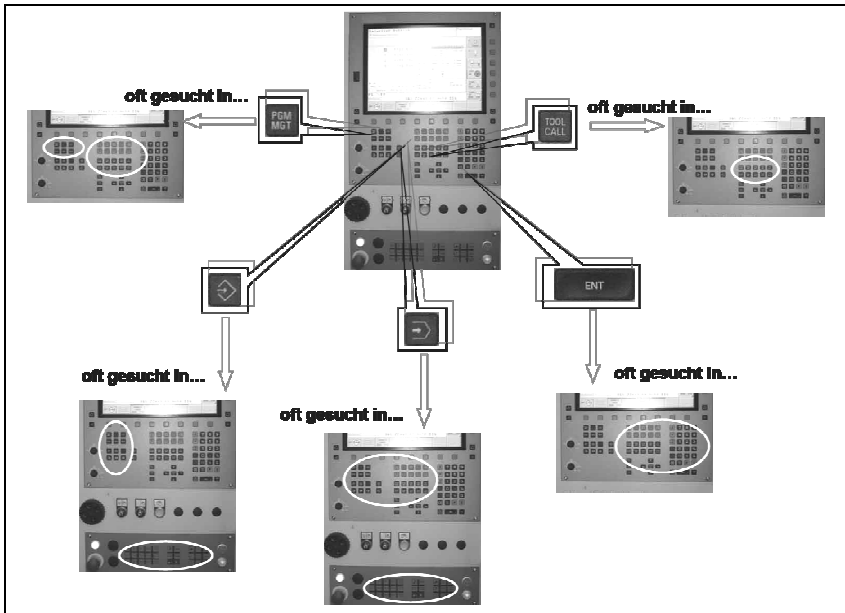


Abb. 4.32: Häufig gesuchte Tasten während der Durchführung von Arbeitsaufgaben auf dem Bedienfeld der Steuerung H2: Programmverwaltung, Programmbearbeitung, Programmtest, Enter, Werkzeugangaben (v. l. n. r.)

Die Videoanalyse von Versuchen auf den Bedienfeldern der Steuerungen H2 mit der Programmierung durch herstellerspezifische Funktionen zeigte, dass für die Verwaltung von Programmen und Dateien häufiger und zum Teil länger nach den entsprechenden Bedienelementen recherchiert wurde (vgl. Abb. 4.32, erstes Bild v. l.). Dabei blieb die Suche jedoch meistens auf den Bereich des Programmmanagements beschränkt. Demgegenüber war die Suche nach der Taste für das Editieren und Testen des Programms nicht selten auf einen größeren Bereich bezogen und fiel mit einer Dauer von bis 30 Sekunden häufig entsprechend länger aus (vgl. Abb. 4.32, zweites und drittes Bild v. l. entsprechend).

Eine weitgehend erwartungskonforme Anordnung wurde bei der Suche nach der Taste „Enter“ beobachtet (Abb. 4.32, zweites Bild v. r.), welche im unteren Bereich des numerischen Blockes angeordnet ist. Diese wurde allerdings auch häufig in dem linken Bereich des numerischen Blocks vermutet. Nach der Taste für den Aufruf des Werkzeuges (Abb. 4.32, erstes Bild v. r.) wurde zwar auch gesucht, aber im Regelfall im richtigen Tastenbereich.

Ein unerwartetes Ereignis wurde bei der Betätigung einer der Softwaretasten beobachtet, welche für eine Person als Touchscreen-unterstützte Taste zu bedienen schien. Interessanterweise waren bei dem Bedienfeld der Steuerungen H2 anders als an den beiden Bedienfeldern der Hersteller H1 und H3 die Achsentasten nicht Gegenstand längerer Recherchen.

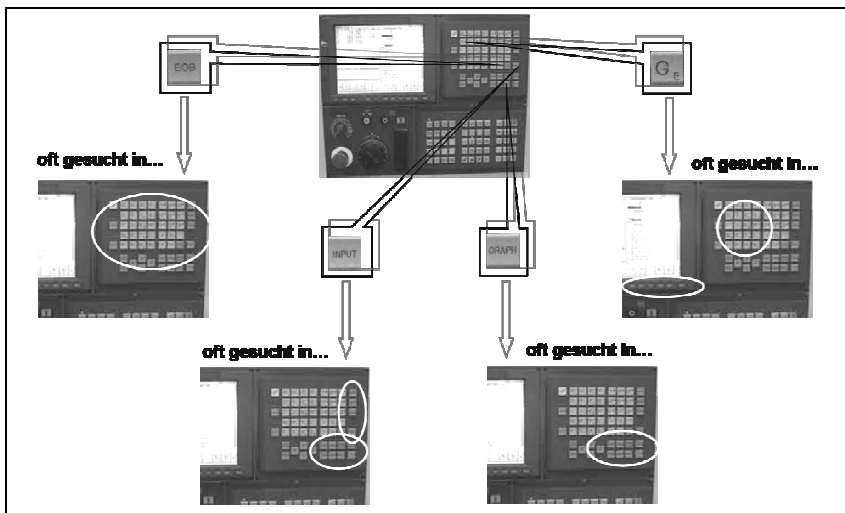


Abb. 4.33: Häufig gesuchte Tasten während der Durchführung von Arbeitsaufgaben auf dem Bedienfeld der Steuerung H3: Satzende EOB, Input, graphische Darstellung (Graph), Befehlstasten (v. l. n. r.)

Da an der Steuerung H3 mit der DIN/ISO-Programmierung programmiert wird, müssen alle Programmbefehle von Hand eingegeben werden. Häufigere Suchprozesse mit allerdings kurzen Suchzeiten fanden im Fall der Achsentasten statt. Im Fall der Suche nach Befehlstasten (Abb. 4.33, erstes Bild v. r.), die zusammen mit der Taste „Shift“ zu betätigen waren, wurden in einigen Fällen Recherchezeiten von bis zu 20 Sekunden ermittelt.

Eher unerwartet wurden einige Tasten, die im gleichen Bereich nah zueinander angeordnet waren, wie z. B. „Satzende“- und „Input“-Tasten (Abb. 4.33, erstes und zweites Bild v. l. entsprechend) in unterschiedlichen Bereichen des Bedienfeldes vermutet. Während die „Input“-Taste im richtigen Bereich gesucht wurde, wurde die Suche nach der „Satzende“-Taste im ganzen Bereich der alphanumerischen Tastatur vorgenommen.

4.2.6 Subjektive Beurteilung der Gestaltung des Bedienfeldes

Neben der Erfassung von objektiven Daten mithilfe des Eye-Tracking-Systems, wurden auch subjektive Informationen über die Personen und deren Erfahrungen erhoben. Ebenso wurden Eindrücke während der Ausführung von Arbeitsaufgaben an den jeweiligen CNC-Maschinen erfasst (siehe Anhang 3 und Anhang 4). Dabei wurden deutliche und höchst signifikante statistische Unterschiede zwischen den Personen unterschiedlicher Berufserfahrungen bei der Beurteilung der Bedienung der CNC-Werkzeugmaschinen festgestellt. Erwartungsgemäß schätzten die Personen mit vergleichsweise kurzer Erfahrung (unter 6 Monaten) die Bedienung von Maschinen häufig schwieriger ein als Personen mit über 3 Jahren Erfahrung.

Ebenso wurde die Beurteilung von der Gestaltung der Bedienfelder und Steuerungen der jeweiligen Hersteller beeinflusst. Nach der Ausführung einer Arbeitsaufgabe wurden die Auszubildenden jeweils befragt, wie leicht oder schwer ihnen die Aufgabenbearbeitung an der gerade bedienten Steuerung fiel. Dabei waren höchst signifikante Unterschiede in der Beurteilung der Bedienung der Steuerungen des Herstellers H1 mit der Programmierung durch Eingabemasken und H3 mit der DIN/ISO-Programmierung festzustellen. Demnach wurden die Steuerungen des Herstellers H1 oft als einfach im Vergleich zu den Steuerungen des Herstellers H3 beurteilt, deren Bedienung häufiger als schwer bezeichnet wurde (Abb. 4.34).

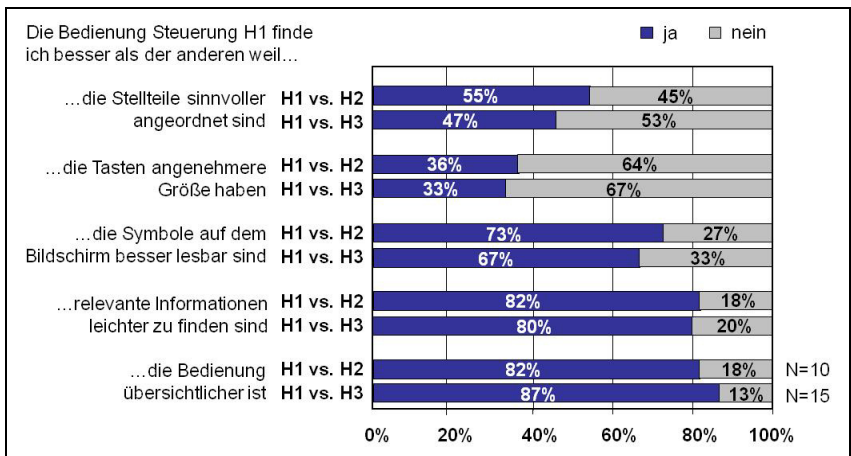


Abb. 4.34: Vergleich der Bewertung der Steuerung H1 mit den Steuerungen H2 und H3 bezüglich verschiedener visueller und haptischer Faktoren

Beim Vergleich der Bedienung bezüglich der Gestaltung von visuellen und haptischen Informationen wurden die Steuerungen des Herstellers H3 als deutlich schwerer zu bedienen empfunden als im Fall von H1 oder H2, die oft als leicht zu bedienen beurteilt wurden. Dabei wurde auf die übersichtliche Bedienerführung der Steuerung von H1 hingewiesen. Im Gegensatz dazu haben lediglich 13% der befragten Personen die Bedienerführung der Steuerung von H3 als übersichtlicher empfunden. Die Auszubildenden gaben zudem an,

dass die relevanten Informationen auf dem Bedienfeld der Steuerungen von H1 einfacher zu finden waren als auf dem Bedienfeld der Steuerung von H3. Die Steuerung von H1 wurde aufgrund der besseren Lesbarkeit von Symbolen auf dem Bildschirm positiver beurteilt als die Steuerungen von H3. Jedoch fiel die Gestaltung der Stellteile der Steuerung H3 bzgl. deren Größe und Anordnung auf dem Bedienfeld positiver aus als die der Steuerung von H1. Weiter war eine Tendenz zu beobachten, dass die Bedienung von Steuerung H1 auch positiver beurteilt wurde als die der Steuerung H2 mit der Programmierung durch herstellerepezifische Funktionen. Die Beurteilungen der Steuerungen H2 und H3 wiesen keine signifikanten Unterschiede auf.

4.2.6.1 Visuelle Informationsgestaltung

Visuelle Informationen auf dem Bildschirm der Steuerung H1 mit der Programmierung durch Eingabemasken wurden meist positiver beurteilt als die auf dem Bildschirm der Steuerung H2 mit der Programmierung durch herstellerepezifische Funktionen ebenso wie die Steuerung H3 mit DIN/ISO-Programmierung (vgl. auch Abb. 4.34). Dabei waren deutliche Unterschiede bei der Beurteilung von Informationen auf den Bildschirmen von H1 und H3 (vgl. Abb. 4.35) zu beobachten – etwa die Hälfte der Personen beurteilte die Anordnung von Informationen im Bedienfeld von H3 als unklar im Vergleich zu knapp ein Drittel der Personen, die die gleiche Beurteilung zu dem Bedienfeld von H1 gegeben haben.

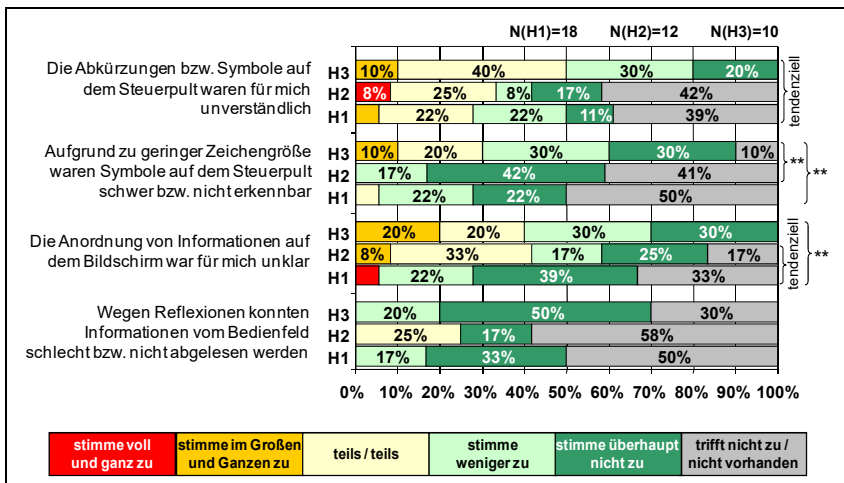


Abb. 4.35: Beurteilung der Gestaltung von Informationen auf den Bedienpanels der Steuerungen von H1, H2 und H3

Die Darstellung von Informationen auf dem Bildschirm und dem Bedienfeld, wie Zeichengröße und -art, beeinflussen die Wahrnehmung von Informationen. Am häufigsten wurde dies bei der Steuerung H3 und in nur wenigen Fällen bei der Steuerung H1

bemängelt. Die Darstellung von Zeichen auf dem Bedienfeld der Steuerung H2 wurde von allen Probanden positiv beurteilt (Abb. 4.35).

Zu einer ergonomischen Gestaltung von Informationen gehört u. a. auch wie die Informationen kodiert sind. Die Kodierungen bei Abkürzungen und Symbolen sahen zwischen 28% (Steuerung H1) und 50% (Steuerung H3) der befragten Personen als verbesserungsbedürftig an. Überraschenderweise konnte kein Zusammenhang zwischen der Dauer der Erfahrung bei der Arbeit mit CNC-Maschinen und der Beurteilung des Erkennens von Abkürzungen und Symbolen auf dem Steuerpult festgestellt werden. Hier zeigten sich keine wesentlichen Unterschiede.



Abb. 4.36: Bildschirme der Steuerungen H1, H2 und H3 im Vergleich (v. l. n. r.)

Moderne Bildschirme – gleich ob im Büro- oder industriellen Bereich eingesetzt – sind heute im Regelfall reflexionsfrei oder zumindest reflexionsarm gestaltet. Bei der Beurteilung des Bildschirms der Steuerung H2 fällt jedoch auf, dass ein Viertel der Personen hier Probleme sehen. Die in Abb. 4.36 dargestellten Bilder der betriebsbereiten Bildschirme, die unter gleichen Bedingungen aufgenommen wurden, zeigt deutlich den Unterschied zu den übrigen Steuerungen. Reflexionen ebenso wie teilweise auch ein schlechter Kontrast zwischen dem Hintergrund und den Zeichen auf dem Bildschirm erschweren hier die vollständige Wahrnehmung der Informationen.

4.2.6.2 Gestaltung von haptischen Bedienelementen

Die Auswertungen des Post-Task-Fragebogens zeigten u. a., dass die Anordnung von Stellteilen auf dem Bedienfeld der Steuerung H1 mit der Programmierung durch Eingabetasten in 30% der Fälle besser eingeschätzt wurde als die der Steuerung H3 mit DIN/ISO-Programmierung. Auch haben die meisten Personen, die die Steuerungen H1 und H2 (Steuerung mit der Programmierung durch herstellereigenspezifische Funktionen) bedient haben, auf die bessere Anordnung von Stellteilen auf dem Bedienfeld der Steuerung H1 hingewiesen.

Bei der Beurteilung der Steuerungen H3 wurde oft darauf hingewiesen, dass es aufgrund der Mehrfachbelegung häufiger zu Verwechslungen und damit zu Fehlbedienungen kommt (Abb. 4.37). Oft wurde auch die Größe von Bedienelementen – bei H1 in 24%, bei H2 in 25% und bei H3 in 20% aller Fälle – kritisch gesehen (siehe hierzu Abschnitt 4.2.5, Tab. 4.11).

Bei der Videoanalyse der durchgeführten Versuche fiel auf, dass bei der Bedienung der Werkzeugmaschine mit dem Steuerpult H2, die Betätigung von seitlich liegenden Bedienelementen eine Drehung des ganzen Bedienfeldes auslöste, da es in dieser Achse

drehbar gelagert ist. Etwa ein Drittel der Personen gab dies als Ursache für Fehlbedienungen an. Bei der Bedienung der Steuerungen H1 wurde auf einen schlechten Druckpunkt der Bedienelemente hingewiesen. Außerdem kam es während der Bedienung der Werkzeugmaschine mit Steuerung H3 zu Fehlbedienungen, da das Bedienelement „Zeigeknopf“ in die falsche Richtung betätigt wurde, wodurch das Werkzeug - entgegen der Absicht - beschleunigt wurde.

Insgesamt gesehen wurden die Steuerungen H3 bezüglich Gestaltung und Anordnung der Bedienelemente generell eher negativer beurteilt als die Steuerungen H1 und H2. Die Bedienung der Steuerung H1 wurde durchgehend eher positiv empfunden, wobei jedoch die Bedienbarkeit der Tasten – hier u. a. insbesondere der Druckpunkt – auch kritisch gesehen wurde.

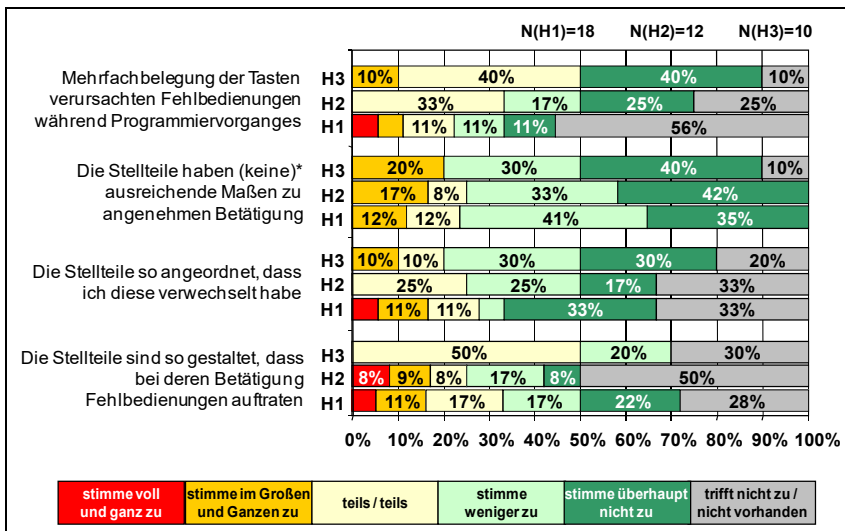


Abb. 4.37: Beurteilung der Gestaltung und Anordnung von Stellteilen auf den Bedienpanels der Steuerungen von H1, H2 und H3
 *) diese Aussage, die im Fragebogen (vgl. Anhang 4) positiv formuliert ist, wurde zur Vereinheitlichung der Darstellung hier verneint wiedergegeben.

Die Videoanalysen belegen weiter, dass Suchprozesse nach relevanten Informationen auf dem Bedienfeld der Steuerung H3 im Durchschnitt länger dauerten als auf den Bedienfeldern der Steuerungen H1 und H2.

4.2.7 Gestaltung der Bedienerführung

Große Aufmerksamkeit wird seit Jahren auch dem softwarebezogenen Teil der Steuerung gewidmet und hier insbesondere die Bedienerführung²⁸. Abb. 4.38 zeigt hierzu einige Ergebnisse. Danach haben die Personen in dieser Untersuchung die Bedienerführung der Steuerung H1 mit der Programmierung durch Eingabemasken am verständlichsten beurteilt. Es folgt die Bedienerführung der Steuerung H2 mit der Programmierung durch herstellerepezifische Funktionen, die von 17% der Personen nur teilweise unverständlich beurteilt wurde. Dagegen wurde die Bedienerführung der Steuerung H3 mit der DIN/ISO-Programmierung von 30% der befragten Personen für eher unverständlich erklärt.

Obwohl die Bedienerführung der Steuerung H2 überwiegend als eher verständlich beurteilt wurde, haben doch 58% der Bediener diese als schwierig beim Auffinden von relevanten Informationen auf dem Bildschirm beschrieben. 42% der Befragten gaben zudem an, dass sie nicht wussten, wie begangene Fehler korrigiert werden sollten (Abb. 4.38). Beim Vergleich der Bedienerführung der Steuerung H3 mit den Steuerungen H1 und H2 wurde diese lediglich in einem Fall bevorzugt.

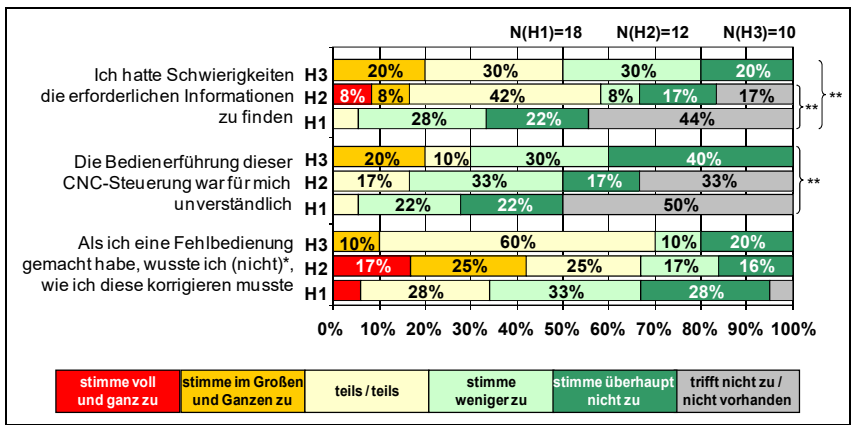


Abb. 4.38: Beurteilung der Gestaltung der Bedienerführung der Steuerungen von H1, H2 und H3

* diese Aussage, die im Fragebogen (vgl. Anhang 4) positiv formuliert ist, ist zur Vereinheitlichung der Darstellung hier verneint wiedergegeben.

Die Bedienerführung der Steuerung H2 wurde im Allgemeinen positiv eingeschätzt, jedoch kam es nicht selten während der Versuche zu Situationen, dass die Aufgabe bedingt durch wiederholte Fehlbedienungen abgebrochen werden musste und in einem Fall dann nicht mehr abgeschlossen werden konnte.

²⁸ Dieses Themenfeld war nicht direkter Gegenstand der Untersuchung und wurde daher nur grob zur Ermittlung von Zusammenhängen zwischen unterschiedlichen Fragestellungen in den Fragebogen einbezogen.

4.2.8 Durchführung der Arbeitsaufgaben an der jeweiligen Steuerung

Eine Möglichkeit der objektivierten Bewertung der Bedienerfreundlichkeit stellt die Betrachtung der Dauer für die Durchführung bestimmter Arbeitsaufgaben dar. Diese wurden für alle Personen für die jeweilige CNC-Maschine in gleicher Form festgelegt.

Dabei konnten keine Zusammenhänge zwischen subjektiver Beurteilung, eigener Erfahrung im Umgang mit CNC-Maschinen und deren Bedienung sowie der Durchlaufdauer von Arbeitsaufgaben oder der in Anspruch genommenen Hilfe festgestellt werden. Die Hilfe wurde zudem am wenigsten bei den Steuerungen H1 und H2 in Anspruch genommen. Im Regelfall war dann nur ein kurzer Blick auf das Zeichen notwendig; der Ausbilder wurde nur selten um Hilfe gefragt. Demgegenüber nahmen im Fall der Steuerung H3 die Personen am häufigsten die Hilfe von Ausbilder bzw. Kollegen in Anspruch; ebenso wurden die Inhalte der Hilfefunktion häufiger und intensiver abgerufen als bei den beiden anderen Steuerungen.

Über alle Personen betrachtet kann festgestellt werden, dass die Steuerungen H1 im Mittel schneller bedient wurden, d.h. die Dauer der Durchführung der Arbeitsaufgaben im Mittel deutlich geringer war als bei den beiden anderen Steuerungen. Im Mittel zeigte sich bei der Bedienung der Steuerung H1 während der Aufgabenbearbeitung eine gegenüber der Bedienung der Steuerung H2 um 6 Minuten reduzierte Ausführungsdauer, gegenüber der Bedienung der Steuerung H3 betrug der Unterschied sogar 7 Minuten. Entsprechend waren die mittleren Bearbeitungsdauern bei den Steuerungen H2 und H3 nahezu identisch.

Im Durchschnitt haben die Personen bei der Bedienung der Steuerung H1 ca. 8 Minuten benötigt. Dabei lagen die Werte für die Dauer der Aufgabenbearbeitung zwischen 5 und 13 Minuten. Im Fall der Aufgabenbearbeitung bei Bedienung der Steuerung H2 wurden dagegen im Durchschnitt 14 Minuten benötigt. Die Spannweite der Einzelwerte war hier mit 17 Minuten am größten. Die längste Durchführungsdauer für die mittlere Dauer der Aufgabenbearbeitung wurde bei der Bedienung der Steuerung H3 beobachtet. Hier wurden im Mittel 17 Minuten bei Einzelwerten zwischen 11 und 23 Minuten benötigt.

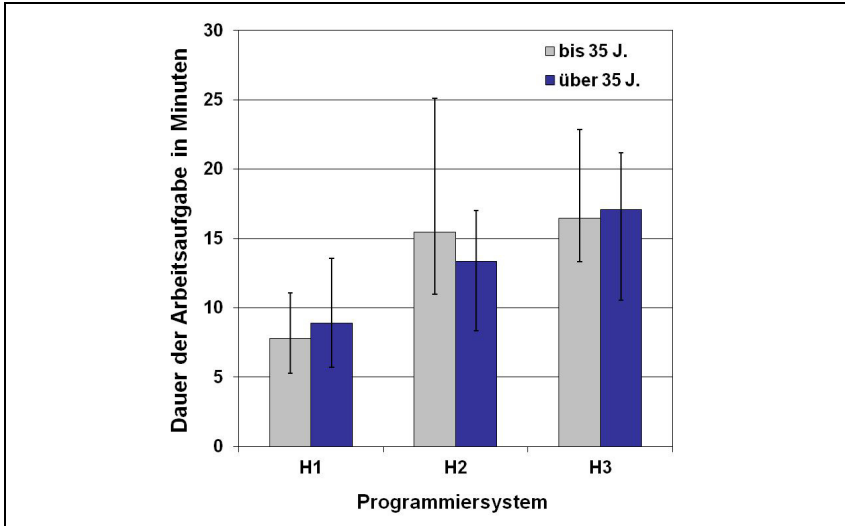


Abb. 4.39: Dauer der Arbeitsaufgabenbearbeitung am Steuerstand nach Programmiersystem/Hersteller und Altersgruppen

Eine Betrachtung der Unterschiede in den Bearbeitungszeiten von je zwei Steuerungen zeigte keine Zusammenhänge mit der beruflichen Erfahrungen oder dem Alter der Personen. Mit einem Unterschied von im Mittel nur ca. einer Minute bei der Bedienung der Steuerung H1 (Programmierung durch Eingabemasken) zwischen Auszubildenden über 35 Jahren und solchen bis 35 Jahren war der Unterschied eher marginal und nicht signifikant (Abb. 4.39). Bei Betrachtung der Bearbeitungszeiten bei der Bedienung der Steuerung H2 (Programmierung durch herstellereigenspezifische Funktionen) betrug die Differenz im Mittel ca. 2 Minuten, hier zugunsten der Altersgruppe über 35 Jahre. Hier war die Spannweite der Bearbeitungszeiten insbesondere in der Altersgruppe bis 35 Jahren besonders groß. Bei der Bedienung der Steuerung H3 (DIN/ISO-Programmierung) wurden keine Unterschiede zwischen den betrachteten Altersgruppen festgestellt (Abb. 4.39).

Des Weiteren konnten nur tendenzielle Verkürzungen der Aufgabenbearbeitungszeiten mit der Zunahme der beruflichen Erfahrung bei der Bedienung der Steuerungen H1 festgestellt werden. Jedoch war zu beobachten, dass die inter-individuellen Schwankungen in der Dauer der Aufgabenbearbeitung mit steigender Erfahrungsdauer geringer wurden. Die gleiche Tendenz lässt sich bei der Auswertung nach Hintergrunderfahrungen bei der Bedienung von CNC-Maschinen erkennen. Hier zeigten sich größere zeitliche Spannweiten bei Personen, die zuvor in anderen als werkstatorientierten Berufen gearbeitet haben (Abb. 4.40).

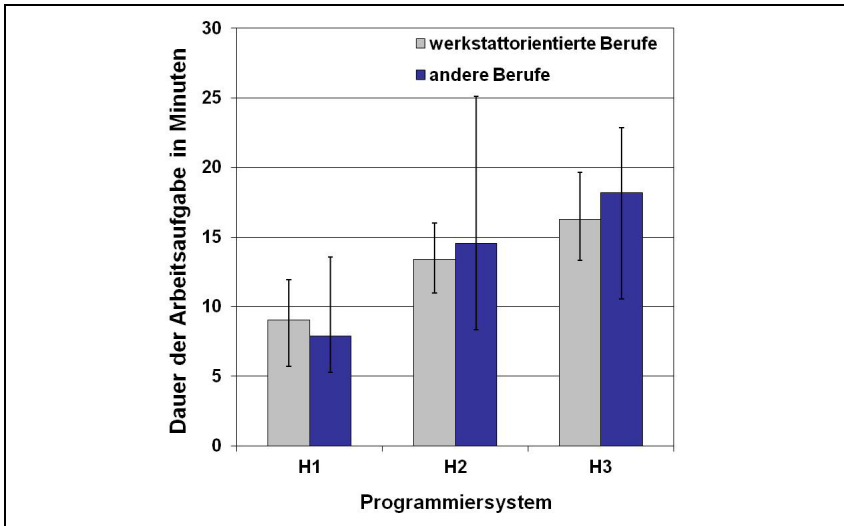


Abb. 4.40: Dauer der Arbeitsaufgabenbearbeitung am Steuerstand nach Programmiersystem/Hersteller und beruflichem Hintergrund

4.2.9 Körperhaltungen bei der CNC-Maschinen-Bedienung

Die Arbeit an einer CNC-Werkzeugmaschine erfolgt überwiegend im Stehen. Für die Durchführung von bestimmten Tätigkeiten, wie z. B. das Setzen des Nullpunktes, benötigt man zudem eine gute Sicht in den Fertigungsraum, wobei gleichzeitig die Erreichbarkeit der Bedienelemente auf dem Bedienfeld sichergestellt werden muss. Die Beobachtung von Personen während des Versuches und die Versuchsdokumentation zeigte, dass die Bedienung der Werkzeugmaschine u. a. während der Durchführung dieser Tätigkeiten verdrehte und gebeugte Körperhaltungen hervorrief (Abb. 4.41).

Neben der Arbeitsaufgabe als solche zeigte sich die Dimensionierung und/oder Gestaltung des Sichtfensters in den Fertigungsraum als wesentliche Einflussgröße. Groß dimensionierte Sichtfenster, welche einen guten Einblick in den Fertigungsraum erlauben, verursachen wenige oder keine verdrehte und/oder gebeugte Körperhaltungen während der Einrichtungs- oder Beobachtungsprozessen.

Wie die Bilder a und b in Abb. 4.41 am Beispiel einer Drehmaschine mit einem großen Sichtfenster verdeutlichen, wurden hier bei der Betrachtung des Fertigungsraums nur leichte Körperneigungen oder Kopfdrehungen beobachtet. Die Bilder c und d zeigen Körperhaltungen an Fräsmaschinen. Obwohl hier ausreichend große Sichtfenster vorhanden sind, kommt es hier bei der Einsichtnahme – allerdings nur gelegentlich – zu verdrehten und/oder gebeugten Körperhaltungen, da der Arbeitstisch tiefer liegt als das es beim Futter bei Drehmaschinen der Fall ist (vgl. Abb. 4.41 c und d).

Am häufigsten wurden deutliche Körperneigungen und Kopfdrehungen jedoch bei der Bedienung von Werkzeugmaschinen mit unvorteilhaft eingebauten Sichtfenstern beobachtet,

wie z. B. bei kleinen Sichtfenstern (Abb. 4.41, e) oder aus zwei Türen bestehenden Schutzfenstern (Abb. 4.41, f). Da die Türen sich genau vor dem Arbeitstisch schließen, konnte der wichtige Bereich im Fertigungsraum nur durch Vorneigen des Oberkörpers eingesehen werden.



Abb. 4.41: Beispiele beobachteter Körperhaltungen während der Bedienung von CNC-Werkzeugmaschinen

Neben den bereits genannten Aspekten können Kühlschmierstoffe die Sicht auf den Fertigungsraum behindern. Auch hier ist eine Kompensation meist nur durch Vorneigen des Oberkörpers möglich (Abb. 4.42).



Abb. 4.42: Erschwerte Einsicht in den Fertigungsraum durch Kühlschmierstoffe

Bei der Analyse der Versuche fiel weiter auf, dass einige Stellteile nur eine bestimmte Art der Betätigung zuließen. Dazu gehörte der sogenannte Knebelknopf auf dem Bedienfeld der Steuerung H3, der für die Regelung des programmierten Vorschubes verantwortlich ist. Um dieses Bedienelement zu betätigen, muss der Zeigeknopf vom Maschinenführer um ca. 270° gedreht werden, wodurch der gesamte Wertebereich vom minimalen bis maximalen Wert durchfahren wird. Bei dieser Drehung wird insbesondere das Arm-Hand-System durch Torsion belastet (Abb. 4.43). Diese Zwangshaltung kann durch ein ungünstiges Verhältnis zwischen der Einbaubauhöhe des Bedienelementes und der Körperhöhe des Maschinenführers weiter verschärft werden.



Abb. 4.43: Beispiele von Hand-Arm-Positionen während der Bedienung von CNC-Werkzeugmaschinen

4.2.10 Veränderungsbedarf aus der Sicht der Probanden

Die Maschinenführer wurden auch zu Veränderungsbedarfen befragt. Dazu gehörten auch persönliche Anregungen bezüglich des bedienten Systems und der Werkzeugmaschine im Allgemeinen. Die Personen wiesen generell auf eine möglichst einheitliche Gestaltung der Steuerungen hin. Durch unterschiedliche Vorgehensweisen in der Programmierung von Steuerungen wird ein schnelles Erlernen des Programmiersystems ebenso wie die Übertragung von Fachwissen von einem System auf das andere erschwert.

Tab. 4.12 zeigt häufig genannte Anregungen zu den jeweils eingesetzten Programmiersystemen. Dazu zählen möglichst selbsterklärende Funktionen, die durch Graphiken oder durch hinterlegte Informationsfenster erläutert werden. Am häufigsten wurde dies für die Steuerung H3 mit DIN/ISO-Programmierung genannt, am wenigsten wurde dies für die Steuerung H1 mit der Programmierung durch Eingabemasken angesprochen.

Für die Werkzeugmaschinen, welche mit der Steuerung H1 ausgerüstet waren, wurde häufig auf ein höhenverstellbares und/oder leicht geneigtes Steuerpult hingewiesen, dabei standen eine weniger belastende Körperhaltung und Abstützungsmöglichkeiten im Vordergrund (vgl. Tab. 4.12).

Bei den Steuerungen H2 (Programmierung durch herstellereigenspezifische Funktionen) sowie H3 wurde auf die Gestaltung und Anordnung von Stellteilen hingewiesen. Zum einen wurde bei der Steuerung H3 die umständliche Eingabe von Befehlen mit der gleichzeitigen Betätigung der Umschalttaste "Shift" bemängelt. Da diese eher unüblich angeordnet ist, wurde darauf hingewiesen, dass eine vollständige PC-Tastatur die Eingabe von Befehlen u.U. erleichtern könnte. Zum anderen sind die Bedienelemente bis zu 600 mm über das Bedienfeld verteilt. So waren einige Stellteile, wie z. B. das Handrad, eher ungünstig angeordnet. Von daher wurde für die Steuerung H2 eine etwas höhere Anordnung des Handrades favorisiert (vgl. Tab. 4.12).

Tab. 4.12: Häufig genannte Veränderungswünsche für das jeweilige Programmiersystem

Merkmal	H1	H2	H3
Anordnung des Bedienfeldes (Höhenverstellbarkeit, Neigung)	X	-	X
Anordnung und Gestaltung der Stellteilen	-	X	X
Selbsterklärende Funktionen	X	X	X
Spracheneinstellung	X	X	-
Sitzgelegenheit	X	X	X

4.3 Ergebnisse zu Loop 2 „CNC-Arbeitsanalyse“

In Loop 2 wurden insgesamt 86 Arbeitsplätze betrachtet, zu denen Informationen über insgesamt 768 Arbeitsvorgängen vorlagen. Die erfassten Informationen wurden datenbankmäßig aufbereitet und ausgewertet. Dabei wurden Informationen zu Tätigkeiten auf den jeweils betrachteten Arbeitsplätzen erfasst, wie z. B. deren Dauer und Häufigkeit ebenso wie welche Körperhaltungen dabei jeweils eingenommen wurden.

Es wurden sowohl Tätigkeiten im Zusammenhang mit der Bedienung von CNC-Maschinen als auch sonstige Tätigkeiten erfasst. An den beobachteten Arbeitsplätzen wurde an unterschiedlichen Werkzeugmaschinen gearbeitet, welche für diese Branche üblich sind und welche mit verschiedenen CNC-Steuerständen ausgestattet waren.

4.3.1.1 Gestaltung des CNC-Maschinenarbeitsplatzes

Im Regelfall waren die beobachteten Steuerstände zwar nicht höhenverstellbar, konnten jedoch radial zum Fertigungsprozess verstellt werden (Abb. 4.44). In nur wenigen Fällen waren die Bedienpulte fest an der Maschine eingebaut.



Abb. 4.44: Beispiele für in Betrieben vorgefundene Bedienfelder

Außerdem wurden vermehrt auch Touchscreen-unterstützte Bedienfelder beobachtet (Abb. 4.45). An einigen Arbeitsplätzen wurde diese zusätzlich mit einer Industrietastatur kombiniert. Zudem wurden auch zusätzliche Bildschirme für die Kontrolle des Fertigungsprozesses vorgefunden.



Abb. 4.45: Beispiel einer CNC-Maschine mit Touchscreen-unterstützter Steuerung

4.3.1.2 Gestaltung des Arbeitsprozesses

Die Auswertung der Arbeitsanalysen ergab für Arbeitsvorgänge mit Bedientätigkeiten einen mittleren Anteil von 46%. Die verbleibenden 54% der Arbeitsvorgänge beinhalteten sonstige, nicht an der Maschine durchzuführende Tätigkeiten. Von Arbeitsplatz zu Arbeitsplatz variierten die zeitlichen Anteile der Bedientätigkeiten deutlich. Im Durchschnitt dauerten die Bedientätigkeiten etwa 70% (rund 5,5 Stunden) der gesamten Arbeitszeit (vgl. Tab. 4.16 im folgenden Abschnitt). Abhängig vom Arbeitsplatz und von den durchzuführenden Tätigkeiten variierte die Dauer der Bedientätigkeit an einem Arbeitstag zwischen 2 und 7,5 Stunden.

Tab. 4.13: Verteilung der Arbeitstätigkeiten mit Bedienung der CNC-Maschine

Arbeitstätigkeit	Mittlerer Anteil
Programmierung und Programmoptimierung	4%
Einrichten, Rüsten und Bestücken	36%
Bedienen und Überwachen	34%
Beschicken und Entladen	9%
Wartung und Kontrolle	17%

Für die Auswertungen wurden die Arbeitstätigkeiten, die die Bedienung einer CNC-Maschine beinhalten, entsprechend Tab. 2.1 im Abschnitt 2.3 in fünf Gruppen unterteilt: Programmierung und Programmoptimierung, Einrichten, Rüsten und Bestücken, Bedienen und Überwachen, Beschicken und Entladen sowie Wartung und Kontrolle. Wie Tab. 4.13 zeigt, war der Anteil der Einrichtungs- und Bedientätigkeiten aller betrachteten Arbeitsvorgänge am höchsten und betrug etwa 2/3 aller Arbeitstätigkeiten.

Tab. 4.14: Kennwerte zur zeitlichen Ausprägung von Arbeitstätigkeiten, die die Bedienung der CNC-Maschine beinhalten (Basis: alle betrachteten Arbeitsplätze)

Arbeitstätigkeiten	Zeitliche Ausprägung* der Bedientätigkeiten in Stunden		
	Min	MW	Max
Programmieren und Programmoptimierung	0,16	0,62	2,2
Einrichten, Rüsten und Bestücken	0,02	1,61	5,8
Bedienen und Überwachen	0,07	3,59	7,4
Beschicken und Entladen	0,07	1,78	5,0
Wartung und Kontrolle	0,25	1,06	4,8

* Nicht an allen Arbeitsplätzen wurden alle aufgelisteten Arbeitstätigkeiten beobachtet. Entsprechend wurden bei der Berechnung der Kennwerte nur solche Arbeitsplätze berücksichtigt, bei denen eine Ausführung der jeweiligen Arbeitstätigkeit auch stattfand.

Zudem zeigten die Auswertungen, dass der weitaus größte Zeitanteil der Arbeitstätigkeiten bei Bedien- und Überwachungstätigkeiten lag. Der zeitliche Anteil betrug hier im Durchschnitt 60% der Zeit aller Bedientätigkeiten an den CNC-Maschinen und konnte im Durchschnitt vier Stunden andauern (vgl. Tab. 4.14). An 22% der betrachteten Arbeitsplätze wurden diese Tätigkeiten zu 100% der gesamten Bedienzeit²⁹ ausgeführt und konnten insgesamt über den Tag verteilt bis zu 7,4 Stunden andauern. Bedien- und Überwachungstätigkeiten wurden dann, wenn sie über längere Zeit – zwischen vier und 7,4 Stunden – ausgeführt wurden, im Regelfall ununterbrochen in einem Arbeitsvorgang ausgeführt.

Kürzere Ausführungszeiten – bis zu zwei Stunden in einem Arbeitsvorgang – wurden dagegen mehrfach (bis zu 1.000 Mal an einem Arbeitstag bei sehr kurzen Ausführungszeiten) an einem Arbeitsplatz ausgeführt. Dabei wurden die Arbeitstätigkeiten an diesen Arbeitsplätzen im Regelfall unter guten ergonomischen Arbeitsbedingungen³⁰ ausgeführt. Nur an etwa 13% der Arbeitsplätze wurden Bedien- und Überwachungstätigkeiten während der Arbeitsanalyse gar nicht beobachtet.

In weiteren 20% der Bedienzeit wurde das Einrichten bzw. das Rüsten der Werkzeugmaschine ausgeführt. An 5% der betrachteten Arbeitsplätze wurden Einrichtungstätigkeiten ausgeführt, die über den ganzen Arbeitstag verteilt bis zu etwa sechs Stunden in Anspruch nahmen. In den meisten Fällen waren es jedoch Tätigkeiten mit geringer zeitlichen Inanspruchnahme (in einem Arbeitsvorgang von etwa eine Minute bis zu fünf Stunden), die bis zu 1000 Mal am Arbeitstag wiederholt werden konnten (vgl. Tab. 4.14).

²⁹ Unter Bedienzeit wird die Zeitdauer verstanden, welche der Maschinenführer bei der Ausführung der Arbeitstätigkeiten (siehe Abschnitt 2.3, Tab. 2.1) an einer CNC-Maschine verbringt.

³⁰ Gute ergonomische Bedingungen sind i.d.R. dann gegeben, wenn Arbeitsgegenstände gut greifbar sind, Belastungs- und Körperhaltungswechsel (z. B. zwischen Stehen und Sitzen) möglich sind, ausreichende Erholungsmöglichkeiten und gute klimatische Bedingungen am Arbeitsplatz bestehen.

In den restlichen 20% der Arbeitszeit wurden Programmier-, Beschickungs- und Entlade- sowie Wartungs- und Kontrolltätigkeiten ausgeführt. Hierbei sorgte die moderne Dezentralisierung der Produktion dafür, dass an lediglich 16% der Arbeitsplätze die Programmierung und/oder Programmoptimierung am Arbeitsplatz stattfand. Die Programmierung erfolgte meist über eine kürzere Zeitdauer (im Durchschnitt eine halbe Stunde, vgl. Tab. 4.14), konnte aber auch bis zu zwei Stunden ununterbrochen in einem Arbeitsvorgang an einem Arbeitsplatz betragen. Das Beschicken der Werkzeugmaschine (z. B. Entnehmen des fertigen Werkstückes) erfolgte in der Regel über einen kürzeren Zeitraum bis zu fünf Minuten jedoch mit mehreren Tätigkeitswiederholungen (bis zu 2.000 Mal an einem Arbeitstag). Aufwendige Beschickungstätigkeiten konnten auch bis zu drei Stunden in einem Arbeitsvorgang und bis zu fünf Stunden an einem gesamten Arbeitsplatz in Anspruch nehmen. Dabei fand an einigen Arbeitsplätzen die Kontrolle der entnommenen Teile direkt in dem Arbeitsvorgang statt, so dass eine Abgrenzung der Tätigkeiten nicht immer gegeben war. Auch zeitaufwändige Wartungs- und Kontrolltätigkeiten dauerten bis zu drei Stunden in einem Arbeitsvorgang und bis zu fünf Stunden an einem gesamten Arbeitstag (Tab. 4.14). Jedoch waren diese Tätigkeiten überwiegend über den ganzen Arbeitstag in kleinen Zeitfenstern verteilt.

Die Tätigkeiten, die von einem Maschinenführer nicht unmittelbar an der CNC-Maschine auszuführen waren, wurden ebenfalls aufgenommen. Diese waren an jedem untersuchtem Arbeitsplatz vorhanden. Der durchschnittliche Anteil dieser Tätigkeiten an einem Arbeitsplatz betrug 30% und variierte zwischen etwa 20 Minuten und etwa sechs Stunden. Diese Tätigkeiten waren sehr unterschiedlich. Hierzu zählten einerseits je nach Arbeitsorganisation übliche kürzere und/oder längere Arbeitsunterbrechungen, auch mussten Mitarbeiter selbst die Roh- oder Fertigteile, Material oder Kisten zu und von der Maschine transportieren bzw. sich zwischen den Maschinen bewegen. Für den Transport von Lasten wurden Transportwagen als Hilfsmittel eingesetzt. Weiter führten Mitarbeiter auch Bürotätigkeiten und Dokumentationsarbeiten durch, füllten Belege und Protokolllisten u. ä. aus. Häufig wurden diese Tätigkeiten mehrere Male am Arbeitstag durchgeführt.

4.3.1.3 Gestaltung des Arbeitsplatzes bezüglich körperlicher Belastungen

Überwiegend wurden die Arbeiten an den betrachteten Arbeitsplätzen im Stehen durchgeführt. An knapp ein Drittel aller untersuchten Arbeitsplätze wurden sitzende Körperhaltungen teilweise unter Einsatz einer Stehhilfe beobachtet. Hierzu wurden bei 10% aller Arbeitsplätze Arbeitstätigkeiten mit ausschließlich stehenden Körperhaltungen über die gesamte Arbeitszeit – bis zu acht Stunden – vorgefunden. 70% aller Arbeitsvorgänge an den untersuchten Arbeitsplätzen wurden im Stehen und 23% im Sitzen durchgeführt. Bei annähernd der Hälfte der Arbeitsplätze wurde während der Ausführung der Arbeitstätigkeiten weniger als eine Stunde insgesamt an einem Arbeitstag im Sitzen gearbeitet. An 20% der untersuchten Arbeitsplätze wurde mehr als vier jedoch bis zu ca. sechs Stunden im Sitzen gearbeitet (vgl. Tab. 4.15).

Dabei betrug der Anteil der Bedientätigkeiten, die an den untersuchten Arbeitsplätzen im Stehen durchgeführt wurden, bis zu 96% der gesamten Arbeitszeit und konnte bis zu 7,5 Stunden andauern. Im Sitzen wurden diese Tätigkeiten bis maximal 5,4 Stunden an einem Arbeitstag ausgeführt. Wie Tab. 4.16 zeigt, wurden Bedien- und Überwachungstätigkeiten

durchschnittlich am längsten im Stehen durchgeführt. Dabei wurden aber auch über einen längeren Zeitraum sitzende Positionen eingenommen.

Mehr als die Hälfte der Arbeitsvorgänge beinhalteten sonstige Tätigkeiten, die zur Hälfte im Stehen und zu einem Drittel im Sitzen durchgeführt wurden. Darüber hinaus wurde u. a. auch das Bewegen zwischen den Maschinen beobachtet. Demgegenüber war der zeitliche Anteil im Stehen und im Sitzen bei der Ausführung sonstiger Tätigkeiten etwa der gleiche und betrug maximal etwa fünf Stunden und etwa eine Stunde durchschnittlich über alle Arbeitsplätze. Andere Körperhaltungen und -bewegungen, wie z. B. das langsame Gehen zwischen den Maschinen, stellte keine relevante Größe im Vergleich zu den anderen Körperhaltungen dar (vgl. Tab. 4.15).

Tab. 4.15: Kennwerte zum Anteil (bezogen auf die Arbeitszeit) und zur zeitlichen Ausprägung unterschiedlicher Körperhaltungen während der Bedienung einer CNC-Maschine über alle beobachteten Arbeitsplätze

	Bedientätigkeiten			Sonstige Tätigkeiten			Gesamt		
	Stehen	Sitzen	Andere KH*	Stehen	Sitzen	Andere KH*	Stehen	Sitzen	Andere KH*
max	96%	70%	6%	57%	67%	8%	100%	73%	12%
min	7%	0%	0%	0%	0%	0%	22%	0%	0%
MW	59%	10%	0%	16%	13%	2%	75%	23%	2%
	Bedientätigkeiten, Stunden			Sonstige Tätigkeiten, Stunden			Gesamt, Stunden		
	Stehen	Sitzen	Andere KH*	Stehen	Sitzen	Andere KH*	Stehen	Sitzen	Andere KH*
max	7,5	5,4	0,5	4,5	5,0	0,6	8,0	5,9	0,9
min	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,7	0,0	0,0
MW	4,6	0,8	0,0	1,3	1,0	0,2	5,9	1,8	0,2

* KH – Körperhaltung

Programmiertätigkeiten bildeten den höchsten Anteil des Arbeitens im Sitzen und betraf etwa ein Drittel aller Programmierarbeitsvorgänge. In weiteren Arbeitsvorgängen wurde im Stehen programmiert. In lediglich 0,3% aller Programmiervorgänge wurden zwei Stunden oder länger in einem Arbeitsvorgang ununterbrochen im Stehen programmiert. Im Allgemeinen waren die Programmiervorgänge mit im Durchschnitt ca. 20 Minuten von eher kürzerer Dauer (vgl. Tab. 4.16). Alle Programmiertätigkeiten erforderten eher leichte Handarbeit in Form von leichtem Druck mittels der Finger (vgl. Tab. 4.17), wie z. B. beim Betätigen von Schaltern oder der Tastaturbedienung. Diese erfolgten meist unter guten ergonomischen Bedingungen.

Tab. 4.16: Durchschnittliche zeitliche Ausprägung verschiedener Körperhaltungen während der Bedienung einer CNC-Maschine an einem Arbeitstag

Arbeitstätigkeiten	Körperhaltung, Stunden		
	Stehen	Sitzen	Sonstige KH*
Programmieren und Programmoptimierung	0,58	0,72	0,00
Einrichten, Rüsten und Bestücken	1,50	1,48	0,00
Bedienen und Überwachen	3,02	2,73	0,00
Beschicken und Entladen	1,83	1,45	0,44
Wartung und Kontrolle	1,01	0,71	0,00

* KH – Körperhaltung

Tab. 4.17: Arbeitsschwere während der Bedientätigkeiten an CNC-Maschinen

Arbeitstätigkeiten	Art der Handarbeit			
	leicht ¹	mittel ²	schwer ³	keine Handarbeit ⁴
Programmieren und Programmoptimierung	100%	0%	0%	0%
Einrichten, Rüsten und Bestücken	67%	29%	4%	0%
Bedienen und Überwachen	61%	31%	0%	8%
Beschicken und Entladen	63%	23%	13%	0%
Wartung und Kontrolle	59%	29%	2%	10%

¹ Als „leicht“ wurden z. B. solche Teiltätigkeiten eingestuft, bei denen ein leichter Druck mit dem Finger ausgeübt wurde, Werkstücke oder Werkzeuge mit geringem Gewicht mit einer oder zwei Händen bewegt wurden oder Lasten mit Hilfsmittel auf glattem, ebenem Boden bewegt wurden.

² Als „mittel“ wurden z. B. solche Teiltätigkeiten eingestuft, bei denen ein deutlicher Druck durch Finger, z. B. beim Verschieben von Werkstücken, aufgebracht wurde, Lasten von 5-10 kg im Stehen von Palette auf den Arbeitstisch gehoben oder Lasten mit Hilfsmittel auf unebenem Boden bewegt wurden.

³ Als „schwer“ wurden z. B. solche Teiltätigkeiten eingestuft, bei denen Werkstücke mit der ganzen Hand erfasst wurden, größere Lasten im Stehen angehoben oder bewegt oder Lasten schwerer als 10 kg transportiert wurden.

⁴ Hierunter wurden Tätigkeiten zusammengefasst, die keine Hand- oder Körperarbeit beinhalten, wie z. B. die Überwachung des Fertigungsprozesses am Bildschirm.

Bei etwa 30% der Einrichtungsvorgänge und etwa 40% der Beschickungsvorgänge handelte es sich um mittlere und teilweise sogar um schwere Handarbeit (vgl. Tab. 4.17). Dabei wurden die Tätigkeiten, die als schwer eingestuft wurden, bis zu 1,5 Stunden ununterbrochen in einem Arbeitsvorgang ausgeführt. Die Tätigkeiten, die als mittelschwere Handarbeit bewertet wurden, dauerten bis zu einer Stunde ununterbrochen und wurden

ebenfalls nur bei stehenden Körperhaltungen vorgefunden. Außerdem wurden bei Einrichtungs- und Beschickungstätigkeiten durchschnittliche Lasten von etwa 20 kg gehandhabt. In etwa einem Viertel dieser Tätigkeiten wurden keine Hilfsmittel eingesetzt bzw. in den restlichen Fällen wurde über keine Hilfsmittel berichtet. Die meisten dieser Tätigkeiten wurden unter guten ergonomischen Bedingungen durchgeführt. Dabei wurden in nur wenigen Fällen (etwa 15%) über eingeschränkten Bewegungsraum jedoch meist bei aufrechten Körperhaltungen berichtet. Annähernd alle Einrichtungsvorgänge und die Hälfte der Beschickungstätigkeiten wurden im Stehen durchgeführt. Dabei handelte sich bei etwa einem Drittel dieser Tätigkeiten um ungünstiges Stehen mit stark gebeugter oder verdrehter Körperhaltung (vgl. Abb. 4.46). Die Einrichtungstätigkeiten waren bis zu sechs Stunden an einem Arbeitsplatz über einen Arbeitstag auszuführen. Während der Einrichtungs- und Beschickungstätigkeiten wurde bis zu mehr als fünf Stunden ununterbrochen im Stehen gearbeitet (vgl. Tab. 4.16). In lediglich 5% dieser Tätigkeiten wurde über sitzende Körperhaltung berichtet, die im Durchschnitt 1,5 Stunden und bis maximal fünf Stunden an einem Arbeitstag durchgeführt wurden.



Abb. 4.46: Beispiele ungünstiger Körperhaltungen bei Arbeitstätigkeiten während der Bedienung einer CNC-Maschine

Etwa 30% der Bedien- und Überwachungsarbeitsvorgänge wurden als mittelschwere Handarbeit eingestuft. Dabei bestanden 26% der Überwachungstätigkeiten aus reiner Überwachung des Fertigungsprozesses. In weiteren Fällen waren die Überwachungstätigkeiten mit dem möglichen Eingriff in den Fertigungsprozess verbunden. In etwa 12% der Bedientätigkeiten war keine Körperarbeit zu beobachten, hier erfolgten lediglich Körperbewegungen ohne eine Last zu handhaben. Dabei wurde überwiegend unter guten ergonomischen Bedingungen gearbeitet. Der zeitliche Anteil der Bedientätigkeiten an der CNC-Maschine hing mit den durchzuführenden Arbeitstätigkeiten an den Arbeitsplätzen zusammen. Hierzu zeigten die Auswertungen, dass die Mitarbeiter im Durchschnitt etwa drei Stunden am Arbeitstag – ca. 2,5 Stunden im Stehen und 0,5 Stunden im Sitzen – Bedientätigkeiten an der CNC-Maschine ausführten. Jedoch konnten diese Tätigkeiten bis maximal sechs Stunden im Stehen und fünf Stunden im Sitzen in einem Arbeitsvorgang ausgeführt werden. Dabei wurde an 9% der Arbeitsplätze eine Stehhilfe verwendet und an knapp 8% der Arbeitsplätze wurden die Bedientätigkeiten im Sitzen durchgeführt. Bei 20%

der Bedienvorgänge wurde eine ungünstige Körperhaltung im Stehen mit vorgeneigten und/oder verdrehten Oberkörper vorgefunden.

Bei etwa einem Drittel aller Wartungs- und Kontrollvorgänge handelte es sich um mittelschwere und bei etwa 2 % um schwere Handarbeit. Dabei wurden die Tätigkeiten, die mittlere Handarbeit beinhalteten, bis zu fünf Stunden ununterbrochen an einem Arbeitsvorgang durchgeführt. Außerdem wurde in 30% der Arbeitsvorgänge über die Handhabung von Lasten berichtet. Dabei betrug das durchschnittliche Lastgewicht knapp 10 kg bei maximalen Lastgewichten von bis zu 40 kg. Die Lasten wurden überwiegend ohne Verwendung von Hilfsmitteln und im Stehen gehandhabt. Im Durchschnitt betrug die Dauer ca. 17 Minuten. In etwa der Hälfte der Arbeitsvorgänge wurde über ungünstiges Stehen bei verdrehter und/oder sogar tief gebeugter Körperhaltung berichtet. Lediglich 5% der Wartungs- und Kontrolltätigkeiten wurden im Sitzen unter Einsatz einer Stehhilfe durchgeführt. Diese dauerten jedoch bis maximal etwa 50 Minuten in einem Arbeitsvorgang. Allerdings konnten die Wartungs- und Kontrolltätigkeiten bis maximal fünf Stunden im Stehen, jedoch bis etwa eine Stunde im Sitzen in einem Arbeitsvorgang sowie an einem Arbeitstag durchgeführt werden. Dabei wurde unter guten ergonomischen Bedingungen gearbeitet.



Abb. 4.47: Abstützen auf das Bedienfeld während Programmier- und Überwachungstätigkeiten

Bei der Betrachtung der Körperhaltungen während der Bedienung von CNC-Maschinen war eine ähnliche Tendenz wie bei der Feldstudie im Loop 1 (vgl. Abb. 4.30 im Abschnitt 4.2.5) zu erkennen. Bei der Ausführung von Arbeitstätigkeiten, wie z. B. Programmierung oder Überwachung des Fertigungsprozesses, konnte ein Abstützen auf das Bedienfeld beobachtet werden (siehe Abb. 4.47).

4.4 Ergebnisse aus Loop 3 „Handmaße“

4.4.1 Beschreibung des untersuchten Kollektivs

An der Untersuchung in dieser Loop nahmen insgesamt 1207 Personen teil. Von insgesamt 1073 Personen unterschiedlichen Alters und Hintergrundes wurden beide Hände im 3D-Datenformat aufgenommen. Für die Auswertungen für diesen Teil der Arbeit wurden die Daten von 840 Personen im Alter ab 18 Jahre ausgewählt, deren 3D-Scan-Bilder gültig und gut lesbar waren. Tab. 4.18 und Tab. 4.19 geben die Verteilung des untersuchten Kollektivs nach Altersgruppen wie sie in DIN 33402-2 [2005] sowie in einer neueren Studie in GREIL et al. [2008] gewählt wurde, wieder.

Tab. 4.18: Verteilung des untersuchten Kollektivs in Altersgruppen entsprechend DIN 33402-2 (2005)

Altersgruppe	Anteil
18-25 J.	21%
26-40 J.	23%
41-60 J.	50%
61-65 J.	6%

Tab. 4.19: Verteilung des untersuchten Kollektivs in Altersgruppen entsprechend Greil et al. (2008)

Altersgruppe	Anteil
20-29 J.	35%
50-59 J.	41%
60-69 J.	24%

Tab. 4.20 zeigt zudem die Verteilung des untersuchten Kollektivs nach Geschlecht. Im Folgenden erfolgt ein Vergleich der im Rahmen dieser Untersuchung ermittelten Perzentilwerte (P5, P50 und P95) mit denen in DIN 33402-2 [2005], DIN EN ISO 7250 Teil 2 [2013] sowie GREIL et al. [2008], dies jeweils nach Geschlecht und für die jeweils gewählten Altersgruppen.

Tab. 4.20: Verteilung des untersuchten Kollektivs nach Geschlecht

Geschlecht	Anteil
männlich	62%
weiblich	38%

Außerdem wurde eine Auswertung der Daten nach Produktionsberufen und andere Berufen vorgenommen (vgl. Tab. 4.21). Da der Anteil der weiblichen Beschäftigten in den Produktionsberufen sehr gering war, wurden in diesem Teil der Auswertung nur männliche Probanden betrachtet.

Tab. 4.21: Verteilung des untersuchten Kollektivs nach Berufsgruppen

Berufsgruppe	Anteil (alle Probanden)	Anteil (nur männliche Probanden)
Produktionsberufe	9%	15%
Andere Berufe	91%	85%

Der Vergleich der Daten aus der in Loop 3 durchgeführten Feldstudie und den in DIN 33402-2 [2005], DIN EN ISO 7250 Teil 2 [2013] und GREIL et al. [2008] gelisteten Daten zeigt eine Veränderung der anthropometrischen Daten des Körpergewichtes bereits über einen relativ kurzen Zeitraum³¹ hinweg auf. Diese Entwicklungen zeigen sich über alle Perzentile sowohl bei den Werten der Körpergrößen als auch des Körpergewichtes.

Abb. 4.48 zeigt die Verteilung der Werte der Körpergröße für die männlichen und weiblichen Probanden. Die Daten der männlichen Probanden wiesen eine größere Spannweite mit Werten zwischen 1500 mm und 2040 mm auf. Tab. 4.22 sowie Tab. 11.1 in Anhang 6 zeigen im Vergleich zu den früheren Untersuchungen eine um einige Zentimeter steigende Tendenz der Werte der Körpergröße in der Untersuchung in Loop 3. Wenn man die Werte aus DIN 33402-2 [2005] und DIN EN ISO 7250 Teil 2 [2013] mit den Ergebnissen aus Loop 3 gegenüberstellt, ist diese Tendenz bei allen Perzentilangaben und Altersgruppen mehr oder weniger deutlich ausgeprägt.

³¹ Die DIN 33402 Teil 2 [2005] und DIN EN ISO 7250 Teil 2 [2011] zugrunde liegenden Daten wurden im Jahr 1999 [DIN 33402-5, 2010] erhoben; die Untersuchung von Greil et al. [2008] basiert auf Daten aus dem Zeitraum 2006-2007; die Feldstudie in Loop 3 fand 2012 statt. Somit liegen zwischen den Erhebungen jeweils ca. 6-7 Jahre.

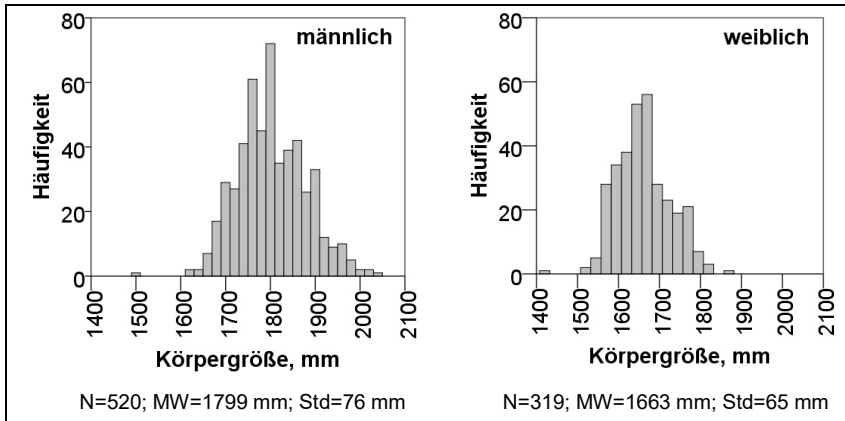


Abb. 4.48: Verteilung männlicher und weiblicher Werte für die Körpergröße

Der Vergleich mit den Werten aus der Untersuchung von GREIL et al. [2008] wies im Großen und Ganzen eine vergleichbare Tendenz der Wertesteigerung auf (vgl. Tab. 4.22 sowie Tab. 11.2 in Anhang 6). Dabei ist insbesondere bei den männlichen Probanden ein deutlicher Einstieg der Werte des 95. Perzentils zu verzeichnen.

Tab. 4.22: Vergleich der in DIN 33402-2 [2005], DIN EN ISO 7250 Teil 2 [2013] sowie in GREIL et al. [2008] genannten Perzentilangaben zur Körpergröße mit den Daten aus dem Loop 3

Quelle	Körpergröße in mm					
	männlich			weiblich		
	P5	P50	P95	P5	P50	P95
DIN 33402-2 [2005]	1650	1750	1855	1535	1625	1720
Loop 3*	1690	1800	1940	1580	1660	1780
Greil et al. [2008]**	1685	1775	1864	1555	1630	1744
Loop 3*	1690	1800	1930	1564	1650	1760

* In Loop 3 wurden die Daten zur Körpergröße von den Probanden erfragt, gemessene Daten können damit geringfügig nach oben oder unten abweichen.

** Zum besseren Vergleich sind jeweils die Mittelwerte der in von GREIL et al. [2008] gemessenen Altersgruppen 20-29 J., 50-59 J. und 60-69 J. dargestellt.

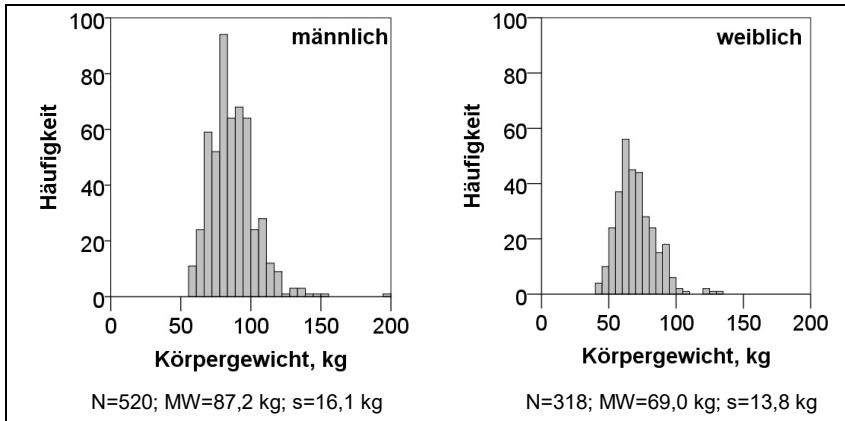


Abb. 4.49: Verteilung des Körpergewichtes - männliche und weibliche Personen

Abb. 4.49 zeigt die Verteilung der Werte für das Körpergewicht getrennt nach männlichen und weiblichen Probanden. Die Angaben variierten zwischen 58 kg und 200 kg bei den männlichen sowie zwischen 40 kg und 130 kg bei den weiblichen Probanden. Die Werte des Körpergewichtes zeigten eine ähnliche Tendenz wie im Fall der Daten zur Körpergröße. Auch hier sind die Werte für die männlichen Probanden bei fast allen Perzentilangaben in der Studie des Loops 3 höher als in den früheren Datenerhebungen.

Tab. 4.23: Vergleich der in DIN 33402-2 [2005] und in GREIL et al. [2008] angegebenen Verteilungsdaten zum Körpergewicht mit Daten aus Loop 3

	Körpermaße (Körpergewicht), kg					
	männlich			weiblich		
	P5	P50	P95	P5	P50	P95
DIN 33402-2 [2005]	63,5	79,0	100,0	52,0	66,0	87,0
Loop 3*	65,0	85,0	115,0	50,0	67,0	94,5
Greil et al. [2008]**	69,1	79,2	106,1	53,2	66,4	86,9
Loop 3*	65,0	85,0	114,0	50,0	67,0	92,0

* In Loop 3 wurden die Daten zum Körpergewicht von den Probanden erfragt, gemessene Daten können damit geringfügig nach oben oder unten abweichen.

** Zum besseren Vergleich sind jeweils die Mittelwerte der in von GREIL et al. [2008] gemessenen Altersgruppen 20-29 J. 50-59 J. und 60-69 J. dargestellt.

Bei der Verteilung des Körpergewichtes der weiblichen Probanden zeigt sich dagegen eine insgesamt breitere Verteilung: bei vergleichbarem Medianwert (50. Perzentil) liegen die Werte des 5. Perzentils tendenziell geringer und das 95. Perzentil deutlich höher als bei den Vergleichswerten aus früheren Datenerhebungen (vgl. Tab. 4.23). Diese Tendenz war auch

bei jungen weiblichen Personen zu verzeichnen. Außerdem zeigte sich bei weiblichen Probanden, dass die ermittelten Werte des 5. Perzentils eine mit dem Alter steigende Tendenz aufwiesen, während bei den Werten des 95. Perzentils über dem Alter eine eher abnehmende Tendenz zu beobachten war (vgl. Tab. 11.3. und Tab. 11.4 in Anhang 7).

4.4.2 Auswertung weiterer anthropometrischer Daten

Im Folgenden werden die Ergebnisse zur Dicke des Daumens und des Zeigefingers betrachtet. Dabei wird keine Unterscheidung zwischen der rechten und linken bzw. dominanten und nicht-dominanten Hand vorgenommen sondern der Mittelwert der Werte der rechten und linken Hand betrachtet. Hierdurch soll einerseits eine Vergleichbarkeit mit den Vergleichsdaten in Normen und anderen Publikationen sichergestellt werden, die eine entsprechende Unterscheidung nicht vornehmen. Zudem war auch die Anzahl der Probanden mit Linkshändigkeit sehr gering. Hierdurch können die zugrunde gelegten Werte zu den Einzelwerten der rechten und linken Hand geringfügig abweichen, wie die Auswertung in Abb. 4.50 und Abb. 4.51 zeigt. Im Fall des Vergleichs mit den Ergebnissen aus der Untersuchung von GREIL et al. [2008] wurden ausschließlich die Werte der rechten Hand betrachtet³².

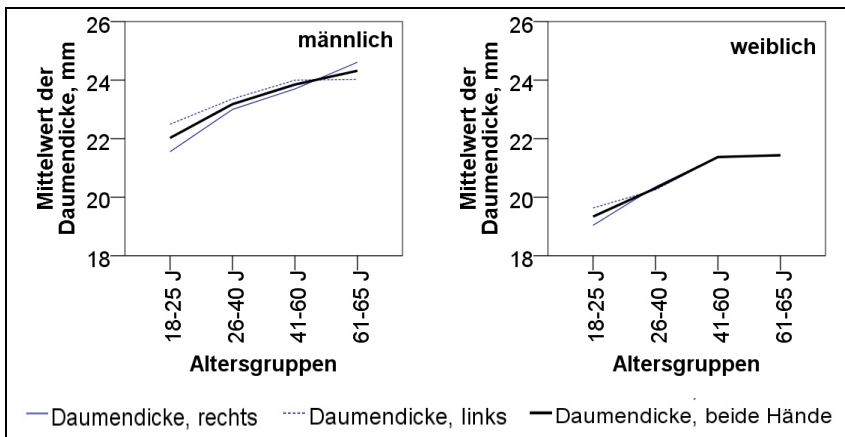


Abb. 4.50: Mittelwert der Daumendicke der rechten und linken Hand im Vergleich zu den mittleren Einzelwerten der rechten und linken Hand hier: Verlauf über den Altersgruppen

Abb. 4.50 und Abb. 4.51 zeigen die ermittelten Verläufe der Mittelwerte der Daumen- und Zeigefingerdicke für die rechte und linke Hand sowie deren Mittelwert über den gewählten Altersgruppen. Es zeigt sich, dass die mittleren Werte sowohl der Daumen- als auch der Zeigefingerdicke mit dem Alter um einige Millimeter ansteigen. Betrachtet man zunächst die

³² vgl. Erläuterung zum Messverfahren in GREIL et al. [2008] auf S. 105-106.

mittlere Daumendicke (vgl. Abb. 4.50), so ist festzustellen, dass die mittlere Daumendicke der linken Hand bei männlichen Probanden im Alter bis zu 60 Jahre sowie bei weiblichen Probanden im Alter zwischen 18 und 25 Jahren geringfügig höher ist als die entsprechenden Werte der rechten Hand. Ab den Altersgruppen 26 Jahre und älter waren bei den weiblichen Probanden im Mittel keine Unterschiede³³ bei den betrachteten Daumendicken der linken und rechten Hand festzustellen (Abb. 4.50, rechtes Bild).

Die Werte der Zeigefingerdicke männlicher und weiblicher Probanden zeigen eine ähnliche Tendenz – bei den jüngeren Probanden zeigten sich minimale Differenzen zwischen den Werten der rechten und der linken Hand. Mit jeder Altersgruppe stiegen die mittleren Werte und erreichten in der Altersgruppe 61-65 Jahre ihr Maximum. Die ermittelten Unterschiede in den Altersgruppen waren bei weiblichen Probanden geringfügig höher als bei den männlichen Probanden (vgl. Abb. 4.51).

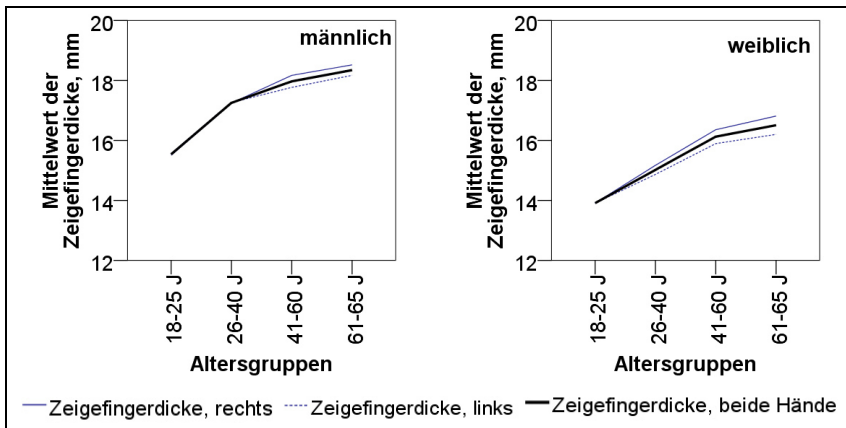


Abb. 4.51: Mittelwert der Zeigefingerdicke der rechten und linken Hand im Vergleich zu den mittleren Einzelwerten der rechten und linken Hand hier: Verlauf über den Altersgruppen

Die weiteren Auswertungen zeigten geringe bis mittlere, jedoch signifikante Korrelationen zwischen den anthropometrischen und den personenbezogenen Daten. Wie erwartet waren Zusammenhänge zwischen Fingerdicken und den Parametern Körpergewicht, Körpergröße und Alter festzustellen. Die Herkunft der Probanden ergab nur im Fall des Zeigefingers und nur bei weiblichen Probanden eine schwache statistische Korrelation zu den anthropometrischen Werten. Außerdem schien die Händigkeit bei der Kraftausübung eine statistisch messbare Auswirkung auf die Werte der männlichen Probanden zu haben. Weiter

³³ Insgesamt gesehen weichen die Werte der Daumen- und Zeigefingerdicke der rechten und der linken Hand im Durchschnitt um etwa 1 mm voneinander ab. Im Vergleich dazu sind die mittleren Unterschiede über den Altersgruppen mit bis zu vier Millimetern deutlich ausgeprägter.

konnte ein Zusammenhang zwischen sportlichen Aktivitäten und den Werten der Zeigefingerdicke männlicher Probanden festgestellt werden.

Beim Vergleich der Werte der Daumendicke aus der vorliegenden Untersuchung mit den Werten aus DIN 33402-2 [2005] sowie DIN EN ISO 7250 Teil 2 [2013] fiel auf, dass die Werte des 5. Perzentils sowohl männlicher als auch weiblicher Probanden relativ konstant über alle Altersgruppen blieben. Ausgenommen sind die Werte weiblicher Probanden im Alter zwischen 41 und 65 Jahren. Verglichen mit den Daten aus den Normen stiegen diese um 3 mm und über die Altersgruppen um 2 mm.

Demgegenüber stiegen die Werte des 95. Perzentils sowohl der männlichen als auch der weiblichen Probanden deutlich zwischen 1 mm und 4 mm in Abhängigkeit von der Altersgruppe sowie im Durchschnitt um 3 mm. Außerdem waren minimale Veränderungen des 50. Perzentils der weiblichen Probanden zu verzeichnen (vgl. Tab. 4.24). Anders als bei den Daten aus den Normen stiegen die Werte der Daumendicke mit dem Alter an (vgl. hierzu Tab. 11.5 und Tab. 11.6 in Anhang 8). Dabei war ein Anstieg zwischen den Werten der Altersgruppen 18-25 Jahre und 61-65 Jahre im Bereich von 2-3 mm festzustellen.

Tab. 4.24: Vergleich der in DIN 33402-2 [2005] und in GREIL et al. [2008] angegebenen Werte zur Daumendicke mit Daten aus Loop 3

Quelle	Daumendicke, mm					
	männlich			weiblich		
	P5	P50	P95	P5	P50	P95
DIN 33402-2 [2005]	20	22	24	16	20	22
Loop 3	20	23	27	17	20	25
Greil et al. [2008]*	21	23	26	17	19	22
Loop 3	20	23	27	18	21	25

* In der Tabelle sind die Mittelwerte der Daumenbreite der rechten Hand für die Altersgruppen 20-29 J., 50-59 J. und 60-69 J. dargestellt, welche in der Untersuchung von GREIL et al. [2008] ermittelt wurden.

Ein Vergleich der Daten der Daumendicke aus Loop 3 mit Daten aus der Untersuchung von GREIL et al. [2008] zeigte eine minimale Abnahme des 5. Perzentils und leichte Zunahme des 50. Perzentils bei Probanden beider Geschlechter; sowie eine deutlichere Zunahme des 95. Perzentils um 3-4 mm bei weiblichen Probanden über alle Altersgruppen (vgl. Tab. 4.24 sowie Tab. 11.5 und Tab. 11.6 in Anhang 8).

Wie Abb. 4.52 zeigt, liegen die am häufigsten vorkommenden Werte der Daumendicke der männlichen Probanden zwischen 22 und 25 mm, im Fall der weiblichen Probanden zwischen 19 mm und 22 mm. Für die Spannweite der Werte über alle Probanden wurde ein Bereich zwischen 17 mm und 29 mm ermittelt.

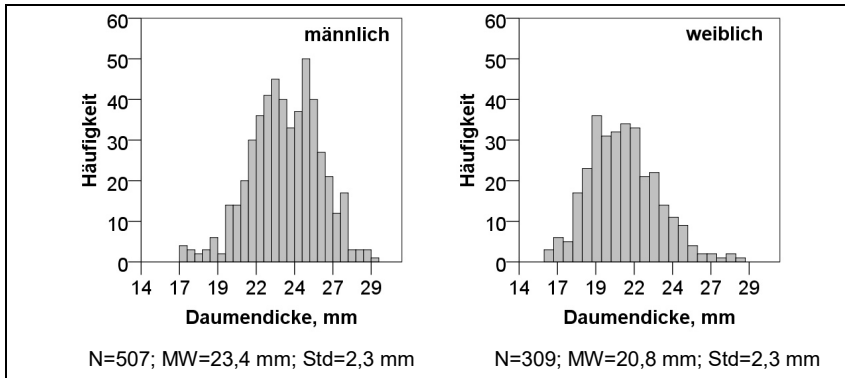


Abb. 4.52: Verteilung männlicher und weiblicher Werte für die Werte der Daumendicke (alle Personen im Alter ab 18 Jahre)

Tab. 4.25 sowie Tab. 11.7 und Tab. 11.8 in Anhang 9 zeigen für das 5. Perzentil eine deutliche Abnahme der Zeigefingerdicke sowohl für weibliche als auch für männliche Probanden über alle Altersgruppen. Dabei betrug der Unterschied zwischen den Werten dieser Untersuchung und den entsprechenden Vergleichswerten aus DIN 33402-2 [2005] sowie DIN EN ISO 7250 Teil 2 [2013] im Durchschnitt etwa 2-3 mm. Im Gegensatz dazu waren in den Altersgruppen 18-40 Jahre um etwa 1-3 mm geringere Werte des 50. Perzentils zu beobachten. Außerdem war eine geringfügige Zunahme der Werte des 95. Perzentils um etwa 1 mm zu beobachten.

Interessante Ergebnisse lieferte die Auswertung und Vergleich der Werte der Zeigefingerdicke aus der vorliegenden Untersuchung mit den Daten aus der Untersuchung von GREIL et al. [2008]. Hier zeigte sich eine Abnahme der Werte des 5. Perzentils um 2-3 mm, dies gleichermaßen für männliche wie für weibliche Probanden. Außerdem war bei männlichen Probanden in der Altersgruppe 60-69 Jahre das 5. Perzentils um 5 mm geringer als bei den Vergleichsdaten (vgl. Tab. 11.7 und Tab. 11.8 im Anhang 9). Der Vergleich der Tabellenwerte zeigt, dass bei den Werten des 50. Perzentils keine wesentlichen Änderungen zu beobachten sind. Dies gilt für beide Geschlechter und alle Altersgruppen. Auch stiegen die Werte des 95. Perzentils um etwa 1 mm, bei den weiblichen Probanden in der Altersgruppe 20-29 Jahre sogar um 4 mm. Insgesamt weisen die hier erhobenen Daten bei vergleichbarem Median eine flachere Verteilung auf (vgl. Tab. 4.25).

Tab. 4.25: Vergleich die in DIN 33402-2 [2005] und in GREIL et al. [2008] vorhandenen Zeigefingerdickendaten mit Daten aus dem Loop 3

Quelle	Zeigefingerdicke, mm					
	männlich			weiblich		
	P5	P50	P95	P5	P50	P95
DIN 33402-2 [2005]	17	18	20	14	16	18
Loop 3	14	17	21	12	15	19
Greil et al. [2008]*	17	18	21	15	16	18
Loop 3	13	17	21	12	16	20

* In der Tabelle sind die Mittelwerte der Zeigefingerbreite der rechten Hand für die Altersgruppen 20-29 J., 50-59 J. und 60-69 J. dargestellt, welche in der Untersuchung von Greil et al. [2008] ermittelt wurden.

Wie Abb. 4.53 zeigt, liegen die Werte der weiblichen Probanden überwiegend im Wertebereich zwischen 13 mm und 18 mm und weisen hier eine relative Gleichverteilung auf. Die Spannweite der Werte reicht von 10 mm bis etwa 22 mm. Im Fall der männlichen Probanden liegen die Werte überwiegend im Bereich zwischen 16 mm und 21 mm. Die Spannweite der Werte reicht hier von 11 mm bis etwa 23 mm.

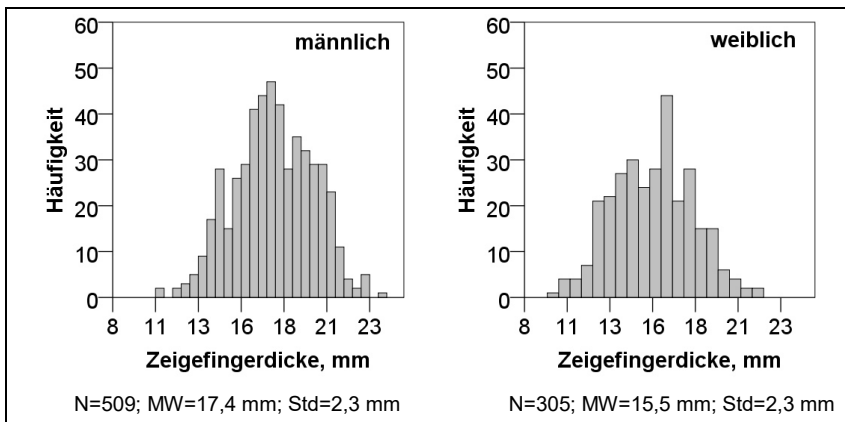


Abb. 4.53: Verteilung männlicher und weiblicher Daten für die Werte der Zeigefingerdicke

Mit Blick auf den demographischen Wandel wurden auch die Werte der Probanden im Alter bis 67 Jahre sowie auch älter ausgewertet. Tab. 4.26 zeigt die Ergebnisse für die Daumen- und Zeigefingerdicke im Vergleich zu der obersten Altersgruppe aus DIN 33402-2 [2005] sowie DIN EN ISO 7250 Teil 2 [2013]. Dabei war mit der Ausweitung der Altersgruppe keine weitere Änderung der Verteilungsparameter verbunden.

Tab. 4.26: Verteilung der Daumen- und Zeigefingerdicke bei Ausweitung der Altersgruppe - Daten aus Loop 3 im Vergleich zu den Angaben aus DIN 33402-2 [2005]

Quelle	männlich			weiblich		
	P5	P50	P95	P5	P50	P95
	Daumendicke körperfern, mm					
DIN 33402-2 [2005] (60-65)	20	22	24	16	19	22
Loop 3 (60-65)	20	25	28	19	21	-
Loop 3 (60-67)	20	24	28	19	22	26
Loop 3 (60-82)	20	24	28	19	22	26
	Zeigefingerdicke körperfern, mm					
DIN 33402-2 [2005] (60-65)	17	18	20	14	16	18
Loop 3 (60-65)	16	18	21	13	17	-
Loop 3 (60-67)	15	18	21	13	17	21
Loop 3 (60-82)	15	18	21	13	17	21

Bei männlichen Probanden waren zwar geringe, jedoch statistisch signifikante Zusammenhänge zwischen den Berufsgruppen und den Werten der Daumen- und Zeigefingerdicke zu erkennen. Aus Tab. 4.27 (siehe auch Tab. 11.9 in Anhang 10) lassen sich geringfügige Unterschiede zwischen den Berufsgruppen bei den Werten der Daumendicke des 5. und 50. Perzentils erkennen.

Dabei sind die Verteilungswerte der Probanden, die in der Produktion arbeiten bzw. gearbeitet haben, um 1 mm höher als bei den Probanden anderer Berufsgruppen. Eine ähnliche Tendenz ist auch bei der Verteilung der Werte der Zeigefingerdicke zu verzeichnen. Hier zeigt Tab. 4.27 (siehe hierzu auch Tab. 11.10 in Anhang 10) einen Anstieg des Medianwertes (50. Perzentil) um 1 mm. Wie aus Tab. 4.27 ersichtlich, war der Anstieg der Werte selbst bei geringfügiger Ausweitung der Altersgruppe um zwei Jahre zu beobachten. Dabei stiegen die Werte des 50. Perzentils der Daumendicke und des 5. Perzentils der Zeigefingerdicke um jeweils 1 mm.

Interessanterweise waren statische Korrelationen zwischen den körperlichen Aktivitäten im Beruf und den Werten der Daumen- und Zeigefingerdicke nur bei männlichen Probanden festzustellen. Zudem war auch ein statistischer Zusammenhang zwischen den körperlichen Aktivitäten Zuhause und den anthropometrischen Daten bei den Werten beider Geschlechter zu verzeichnen. Dabei standen diese bei weiblichen Probanden in einem stärkeren Zusammenhang als bei den männlichen Probanden.

Tab. 4.27: Vergleich der Kennwerte zur Daumen- und Zeigefingerdicke für Probanden aus Produktionsberufen und anderen Berufen

Altersgruppen	Daumendicke (körperfern), mm					
	Produktionsberufe			Andere Berufe		
	P5	P50	P95	P5	P50	P95
18-65	21	24	27	20	23	27
18-67	21	25	27	20	23	27
	Zeigefingerdicke (körperfern), mm					
	Produktionsberufe			Andere Tätigkeiten		
	P5	P50	P95	P5	P50	P95
18-65	14	18	21	14	17	21
18-67	15	18	21	14	17	21

4.4.3 Übereinstimmung anthropometrischer Maße mit den auf dem Bedienfeld vorhandenen Bedienelementen

Die Maße der Bedienelemente moderner Bedienfelder sollten im Regelfall den anthropometrischen Maßen der modernen Bevölkerung entsprechen. Die Vergleiche der in Schmidtko [1989] und in DIN EN 894-3 [2010] angegebenen Daten sowie der in Loop 1 (Untersuchung mithilfe von Eye-Tracking-System) gemessenen Stellteilgrößen zeigten deutliche Unterschiede in den Werten (vgl. Abschnitt 4.2.5). Die in Loop 1 gemessenen Stellteile entsprachen meist den in der Literatur vorhandenen Mindestanforderungen [vgl. Schmidtko, 1989; DIN EN 894-3, 2010] für die Betätigung von Stellteilen mit dem Zeigefinger. Für eine Betätigung mit dem Daumen, wie es im Loop 1 festgestellt wurde, erweisen sich diese Abmessungen als deutlich weniger angemessen (vgl. Tab. 4.28).

Tab. 4.28: Vergleich der Stellteilgrößen der untersuchten Steuerungen

	Fingerkontakt		Finger-Daumen-Kontakt	
	Alphanumerische Tasten	Software-Tasten	Drehkopf	Zeigeknopf
Steuerung H1	14 x 14 mm	15 x 15 mm	∅ 30 mm	∅ 60 mm
Steuerung H2	13 x 13 mm	12 x 12 mm	∅ 20 mm	∅ 60 mm
Steuerung H3	15 x 15 mm	6 x 12 mm	25 x 6 mm	∅ 50 mm

Ergebnisse

Betrachtet man die Abmessungen der auf dem Bedienfeld vorhandenen Stellteile, wie z. B. der alphanumerischen Tastatur und den Abständen zwischen den Stellteilen, so können diese mit den in Loop 3 ermittelten anthropometrischen Daten verglichen werden. Wie in Abschnitt 4.2.5 gezeigt wurde, betrug die minimale Größe der Stellteile 7 mm und der minimale Abstand zwischen den Bedienelementen 4 mm. Wie aus Tab. 11.7 und Tab. 11.8 in Anhang 9 ersichtlich, wurde für die Zeigefingerdicke eines 95. Perzentil Mannes eine Zeigefingerdicke von 21 mm ermittelt. Vergleicht man dies mit den genannten Minimalwerten, so entspricht dies der Breite von zwei Tasten sowie dem Abstand dazwischen. Somit besteht eine nicht unerhebliche Wahrscheinlichkeit, dass zwei Bedienelemente gleichzeitig gedrückt werden, was zu Bedienfehlern führen kann. Diese Möglichkeit der Fehlbedienung steigt, wenn die Bedienelemente (auch) mit dem Daumen betätigt werden, dessen Dicke durchschnittlich 6 mm höher ist.

5 Diskussion der Ergebnisse

Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen hatten das Ziel, die Arbeit an einer CNC-Werkzeugmaschine bezüglich technischer und menschlicher Aspekte zu untersuchen. Hierzu gehörte zum einen die Untersuchung der Gebrauchstauglichkeit der CNC-Maschinensteuerstände. Zum anderen sollte auch bei weiteren Entwicklungen des demographischen Wandels den älteren Beschäftigten das schnelle und einfache Erlernen moderner CNC-Steuerungssysteme ermöglicht sowie ein produktives Arbeiten an Werkzeugmaschinen und das gute Handhaben von Arbeitsmitteln gewährleistet werden. Eine der Grundlagen für die hier dargestellten Untersuchungen war eine in den letzten Jahren von KLUßMANN et al. [2009] durchgeführte Befragung, die zeigte, dass die Bedienung von CNC-Maschinen immer noch häufig als mit ergonomischen Probleme behaftet angegeben wurde. Außerdem konnten keine neuen Informationen zur ergonomischen Gestaltung von Maschinenarbeitsplätzen gefunden werden, dagegen aber Instrumente, die diese überprüfen [vgl. z. B. BGI/GUV-I 5048, 2010].

Die aus den Vorrecherchen gewonnenen Informationen wiesen auf eine große Vielfalt von Darstellungsmöglichkeiten bei Bedienfeldern hin (vgl. hierzu Abschnitt 2.6.1, Abb. 2.8). Dies zeigte sich z. B. auch in einem unterschiedlichen Aussehen und uneinheitlicher Anordnung von Bedienelementen auf dem Bedienfeld. Diese Vielfalt an Möglichkeiten stellt auch Betriebe vor eine Herausforderung bei der Beschaffung von Arbeitsmitteln. Auch stellt sich die Frage, welche Bedienfelder und Anordnungen eine effiziente Arbeitsorganisation und ein schnelles Erlernen der Bedienung der Maschinen erlauben. Aufgrund der Vorrecherchen wurde zunächst im Rahmen einer Pilotstudie eine Befragung konzipiert und durchgeführt.

5.1 Diskussion der Ergebnisse aus der Pilotstudie

5.1.1 Gestaltung von Informationen auf dem Bedienfeld

In der Pilotstudie wurden Steuerungsstände von drei großen Steuerungsherstellern betrachtet: Die Steuerung von Hersteller 1 (H1) mit werkstatorientierter Programmierung, verfügte über ein graphisches Interaktionssystem mit Eingabemasken und wurde durch weitere animierte Elemente unterstützt (Abb. 5.1, Bild links); die Steuerung von Hersteller 2 (H2) mit werkstatorientierter Programmierung war ebenfalls mit einem graphischen Interaktionssystem ausgestattet und wird durch herstellerspezifische Funktionen unterstützt (Abb. 5.1, Bild in der Mitte); die Steuerung von Hersteller 3 (H3) mit werkstatorientierter Programmierung setzt ein erfahrenes Bedienpersonal voraus und verfügt über die Möglichkeit der DIN/ISO-Programmierung (Abb. 5.1, Bild rechts).



Abb. 5.1: Untersuchte Steuerstände H1, H2 und H3 (v. l. n. r.)

Wie auch die Ergebnisse der Untersuchung von SCHULZE [1999] zeigen, dauert die Erlernphase umso länger je ausgeprägter die Unterschiede zwischen den erlernten und den zu erlernenden Oberflächen sind. Hierzu zeigen auch die Ergebnisse aus der Pilotstudie (vgl. hierzu Abschnitt 4.1), dass die Maschinenbediener beim Wechsel zwischen unterschiedlichen CNC-Werkzeugmaschinen meist mit unterschiedlichen Interaktionssystemen konfrontiert werden, was die Bedienung nicht selten zusätzlich erschwert, da unterschiedliche Vorgehensweisen zu beachten sind.

Die Anordnung von Bedienelementen und Informationen auf dem Bedienfeld wurde im Fall des Interaktionssystems H1 oft als leicht zu bedienen beurteilt. Demgegenüber wurde das Interaktionssystem H3 im Vergleich zu den beiden anderen Interaktionssystemen H1 und H2 oft als eher schwer zu bedienen bewertet. Den Ergebnissen zufolge schien Steuerung H3 jedoch am schnellsten erlernbar zu sein. Dies hing möglicherweise mit der herkömmlichen DIN/ISO-Programmierung zusammen.

Die weltweite Globalisierung fordert von Mitarbeitern im Betrieb eine möglichst rasche Anwendung einer neuen CNC-Maschine [MARTIN & ROSE, 1992]. Dabei sollen die Berufserfahrungen helfen, die neuen Technologien möglichst schnell zu erlernen. Jedoch zeigen die Ergebnisse dieser Studie, dass das Erfahrungsniveau der Auszubildenden einen eher geringen Einfluss auf das Erlernen der Bedienerführung zu haben scheint. Jede dritte befragte Person gab an, dabei immer noch Schwierigkeiten zu haben.

Weiter zeigten sich deutliche Unterschiede zwischen den unterschiedlichen Altersgruppen. Im Vergleich zu Personen bis 25 Jahre beurteilten Personen älter als 45 Jahre das Erlernen häufiger als schwierig. Wie in Abschnitt 4.1.2 (vgl. Abb. 4.5) dargestellt, war zudem festzustellen, dass Erfahrungen mit anderen, in dieser Studie nicht untersuchten Steuerungen einen positiven Einfluss auf das Erlernen der Bedienung der CNC-Maschine haben können.

5.1.1.1 Gestaltung von visuellen Informationen

Mit dem Alter nimmt die Sehfähigkeit ab [vgl. SAUP, 1993]. Dies bedeutet auch vor dem Hintergrund der Entwicklungen im Zusammenhang mit dem demographischen Wandel, dass insbesondere auch in den industriellen Bereichen visuelle Informationen so gestaltet werden müssen, dass diese von Personen jeden Alters schnell und fehlerfrei abgelesen werden können. Allerdings zeigen die Auswertungen der Pilotstudie im Abschnitt 4.1.2.1 (siehe

Abb. 4.6 und Abb. 4.7), dass für Personen älter als 45 Jahre die Lesbarkeit von Symbolen und Zeichen sowie das Erkennen von Schriften bzgl. deren Zeichengröße und Zeichenart deutlich schwieriger war als für die anderen Altersgruppen. Möglicherweise entstand aus diesem Grund bei dieser Altersgruppe der Wunsch, die Lesbarkeit auf dem Bildschirm durch einen größeren Monitor und/oder größere Symbole zu verbessern. Wie Abb. 4.13 und Abb. 4.14 im Abschnitt 4.1.2.2 zeigen, beeinflusste auch die Größe von Symbolen und Zeichen auf dem Bedienfeld eher negativ das Erkennen insbesondere für die Personengruppe über 45 Jahre.

Außerdem wurde in Abschnitt 4.1.2.1 (Abb. 4.8) erläutert, dass der Bildschirm der Steuerung H2 wegen der Reflexion bemängelt wurde. Dies widerspricht den Voraussetzungen für die Gestaltung von Bildschirmen, da möglichst reflexionsfreie Bildschirme, wie u. a. in DIN EN ISO 9241 Teil 5 [1999] und Teil 303 [2012], VDI/VDE 3850 Teil 3 [2015] angegeben, eingesetzt werden sollten.

Außerdem war die Wahrnehmung von Informationen auf dem Bildschirm herstellerabhängig. Dabei zeigten die Ergebnisse im Abschnitt 4.1.2.1, dass Informationen, wie z. B. die Schriftgröße oder die Anordnung von Informationen, auf dem Bildschirm der Steuerungen H1 (WOP mittels Eingabemasken) für alle Altersgruppen am angenehmsten waren. Zusätzlich wiesen die Anwender darauf hin, dass das Erkennen von Symbolen und Zeichen vom Bildschirm der Steuerung H1 oft besser sei als bei den Steuerungen H2 (WOP mithilfe herstellerspezifischen Funktionen) und H3 (WOP mit der DIN/ISO-Programmierung).

5.1.1.2 Gestaltung von haptischen Informationen

Auch die Gestaltung haptischer Informationen, wie z. B. bei alphanumerischen Tastaturen, wurde von einem Drittel der befragten Personen als unergonomisch beurteilt. Insbesondere wurde hierauf im Fall der Steuerung H1 hingewiesen. Häufiger Anlass war dabei der Druckpunkt der Tasten. Zusätzlich wurde die Anordnung und die Mehrfachbelegung der Tasten im Fall der Steuerung H3 genannt, welche oft, wie auch in der Untersuchung von ROSE et al. [1999], die Ursache für Fehlbedienungen war und nur eingeschränkt den Anforderungen der VDI/VDE 3850 Teil 2 [2002] entsprachen.

Wie die Ergebnisse in Abschnitt 4.1.2.2 zeigen, wurde häufig bei der Bedienung auf die unergonomische Gestaltung der Tasten bzgl. deren Größe hingewiesen. Für eine mögliche Bedienung mit Handschuhen legen VDI/VDE 3850 Teil 2 und DIN EN 894 Teil 3 fest, dass die Eingabegeräte zu Hand- und Fingergrößen passen sollen.

Ähnlich der Untersuchung von ZÜHLKE et al. [1998] zeigen auch die Ergebnisse aus der Pilotstudie, dass das Erlernen von Abkürzungen und Symbolen gerade Auszubildenden mit anderem kulturellen Hintergrund nicht selten Schwierigkeiten bereiteten. Hierzu gaben die Personen mit Migrationshintergrund doppelt so häufig an, hierbei zumindest anfänglich Schwierigkeiten gehabt zu haben. Des Weiteren wiesen die Ergebnisse darauf hin, dass die Erfahrungen, die Auszubildende in die Weiterbildung mitbringen, nur wenig zum Erlernen der Bedeutung der Symbole und Abkürzungen neuer Steuerungen beitragen. Hierdurch wird wahrscheinlich nicht selten die Übertragung von Erfahrungen von einem Steuerstand zu einem anderen erschwert.

5.1.2 Gestaltung von Arbeitsplatz und Körperhaltungen während der Arbeit an einer CNC-Maschine

Entgegen den Anforderungen in DIN EN 14738 [2004], DIN EN ISO 6385 [2004] und DIN EN 614 Teil 1 [2009] und trotz der Empfehlungen aus früheren Untersuchungen [vgl. z. B. FAILMEZGER et al., 1989] waren in 80% der eingesetzten Steuerungen die Bedienfelder fixiert, also nicht höhenverstellbar. Dies spiegelt sich auch darin, dass von einem Drittel der Personen – darunter vermehrt Personen mit geringerer Körpergröße – die Anordnung des Bedientableaus zum Arbeitsprozess wie auch die Einsicht in den Fertigungsraum während Überwachungstätigkeiten kritisch gesehen wurde. Allerdings konnte kein Zusammenhang zwischen der Beurteilung des Greifraums und der Körpergröße festgestellt werden.

Außerdem beurteilte lediglich die Hälfte der Personen die Höhe des Steuerstandes als angemessen für die Arbeit an der jeweiligen CNC-Maschine. Wie Abb. 4.17 im Abschnitt 4.1.3 zeigt, waren hiervon die Beurteilung der Einsicht in den Fertigungsraum während des Fertigungsprozesses, des Greifraums ebenso wie die Beurteilung der Körperhaltungen (vgl. hierzu Abb. 4.18 im Abschnitt 4.1.5) betroffen. Hier gaben lediglich 11% der Personen an, dass sie eine schlechte Einsicht in den Fertigungsraum während des Bearbeitungsprozesses hatten im Vergleich zu 26% der Personen, die die Höhe des Steuerstandes als unangemessen für die Arbeit an der Maschine beurteilten. Auch die Bewertung des Greifraums (vgl. Abb. 4.17 im Abschnitt 4.1.3) und der Körperhaltung (vgl. Abb. 4.18 im Abschnitt 4.1.5) wurde dadurch beeinflusst. Hier schätzten die Personen, die die Höhe des Steuerstandes als angemessen beurteilten, nur in 4% der Fälle den Greifraum als unangemessen ein und etwa ein Drittel bewerteten die Körperhaltungen als angespannt.

Außerdem sorgten möglicherweise nicht-höhenverstellbare Maschinensteuerstände sowie das Nicht-Vorhandensein von Stehhilfen dafür, dass weit mehr als die Hälfte der befragten Personen ihre Körperhaltung als anstrengend beurteilten und über Beschwerden am Muskel-Skelett-System berichteten, (vgl. Abb. 4.20 in Abschnitt 4.1.5). Darunter waren vor allem jüngere Auszubildende, was möglicherweise auch mit der Veränderung der Arbeitsbedingungen und auszuführenden Tätigkeiten beim Übergang von der Schulausbildung zum Beruf zusammenhängt, wo nunmehr meistens im Stehen gearbeitet wird und nur über kurze Zeiträume eine sitzende Position eingenommen werden kann. Beschwerden im Nacken und unteren Rücken waren bei Personen aller Arbeitsgruppen gleichsam festzustellen. Insofern könnte die schon seit längerem häufig diskutierte Stehhilfe [vgl. FAILMEZGER et al., 1989; VOLLMER, 1995] vor allem in der Ausbildung die Körperhaltung entlasten [vgl. auch KIRCHNER & BAUM, 1990] und dafür sorgen, dass nur wenige Auszubildende schon im ersten Jahr die Ausbildung abbrechen [DATENREPORT, 2012].

Wie Abb. 4.19 im Abschnitt 4.1.3 zeigt, beeinflusst die Anordnung des Bedienfeldes am Maschinengehäuse die berichteten Beschwerden im Bereich des Nackens ebenso wie die des oberen und unteren Rückens. Dabei wurde bei höherem Aufbau des Bildschirms gerade bei Personen mit einer Körpergröße unter 176 cm vermehrt über Beschwerden im Bereich des Nackens berichtet. Demgegenüber wurde bei für diese Personengruppe entspannteren, tieferen Aufbau des Bedienfeldes vermehrt von den Personen mit einer Körpergröße größer als 180 cm über Beschwerden im Nacken berichtet. Möglicherweise war die tiefere Anordnung des Bedienfeldes zumindest Ursache mit dafür.

5.1.3 Ableitung der Arbeitshypothesen

Auf der Grundlage der Ergebnisse der Pilotstudie wurden Arbeitshypothesen abgeleitet, die in drei nachfolgenden Loops untersucht wurden (Abb. 5.2). In einer ersten Untersuchung (Loop 1) wurde hierzu das Themenfeld Gestaltung von Informationen auf dem Bildschirm und Bedienfeld eines Maschinensteuerstandes unter Einsatz eines Eye-Tracking-System aufgegriffen.

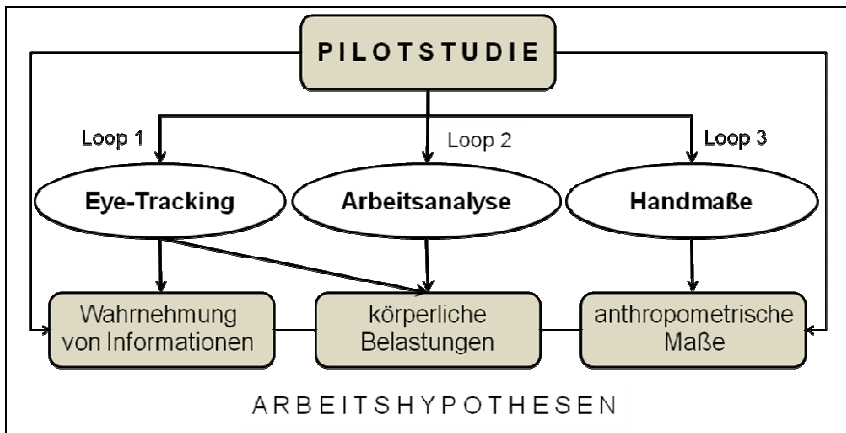


Abb. 5.2: Grafische Darstellung der Struktur und Inhalte dieser Arbeit

In einer zweiten Untersuchung (Loop 2) wurde mithilfe von Arbeitsanalysen in Betrieben des industriellen Bereiches der Frage der Körperhaltungen und der bei der Bedienung von CNC-Maschinen entstehenden körperlichen Belastungen nachgegangen. In einer dritten Untersuchung (Loop 3) wurden in einer deutschen Bevölkerungsstichprobe gemessene anthropometrische Daten hinsichtlich ihrer Verteilung auf Veränderungen und Übereinstimmungen mit anthropometrischen Vergleichsdaten hin untersucht.

5.2 Diskussion der Ergebnisse aus Loop 1 „Eye-Tracking“

Als eine der Größen der ergonomischen Informationsdarstellung wurde in Loop 1 die Performance während der Bedienung der CNC-Maschinen mithilfe eines Eye-Tracking-Systems untersucht. Dabei zeigten sich bei Personen, die mit der Steuerung H1 (WOP mittels Eingabemasken) arbeiteten, im Schnitt kürzere Bearbeitungszeiten (6-7 Min.) als bei der Bearbeitung vergleichbarer Aufgabenstellungen mit den Steuerungen H2 (WOP mithilfe herstellerspezifische Funktionen) und H3 (WOP mit der DIN/ISO-Programmierung). Auch bei der subjektiven Beurteilung der Bedienung der Steuerung H1 wurde diese häufiger einfacher als die Steuerungen H2 und H3 eingeschätzt. Ebenfalls wurde bei der Ausführung von gestellten Arbeitsaufgaben bei der Steuerung H3 häufiger um Hilfe gefragt als bei den anderen beiden betrachteten Steuerungen. Auch beurteilten die Personen die Bedienung der Steuerung H3 als eher unverständlich im Vergleich zu den Steuerungen H1 und H2 (vgl. Abb. 4.38 im Abschnitt 4.2.7). Ebenfalls war festzustellen, dass Personen

bei der Bedienung der Steuerung H2 die Teilnahme an der Untersuchung häufiger verweigerten oder es kam zum Versuchsabbruch aufgrund der als eher unverständlich eingeschätzten Bedienung.

Bisher erworbene Erfahrungen und Alter der Personen hatten dagegen keinen wesentlichen Einfluss auf die Aufgabenbearbeitungszeit. Bei längerer Arbeitserfahrung wurden jedoch geringere inter-individuelle Zeitdauern beobachtet als bei den Auszubildenden mit kürzerer Arbeitserfahrung mit CNC-Maschinen. Das subjektive Empfinden bei der Arbeit mit CNC-Maschinen, wie z. B. das eingeschätzte Vertrauen im Umgang mit der CNC-Maschine und deren Bedienung, hatte keinen Einfluss auf die Dauer der Aufgabenbearbeitung.

5.2.1 Diskussion der Arbeitshypothese 1: Wahrnehmung von Informationen auf den Bedienfeldern unterschiedlicher Herstellern

Als erste Arbeitshypothese wurde formuliert, dass die Wahrnehmung von Informationen sich bei Steuerungen unterschiedlicher Hersteller auf verschiedene Weise darstellt.

Hierzu wurden drei unterschiedliche Bedienfelder vergleichend untersucht. Videoanalysen zeigten, dass das durchschnittliche Blickverhalten auf den drei untersuchten Bedienfeldern unterschiedlich verläuft. Jedes Bedienfeld wies hierbei unterschiedliche Bedienungsschwerpunkte auf. So lag bei der Steuerung H1 mit der Programmierung mittels Eingabemasken im Gegensatz zu den anderen beiden Steuerungen der Schwerpunkt auf der Interaktion mit dem Bildschirm (vgl. hierzu Abb. 4.23 im Abschnitt 4.2.2). Bei Steuerung H2 mit der Programmierung mithilfe herstellerspezifische Funktionen (vgl. Abb. 4.24 im Abschnitt 4.2.2) sowie Steuerung H3 mit der DIN/ISO-Programmierung (vgl. Abb. 4.25 im Abschnitt 4.2.2) war das Blickverhalten relativ gleichmäßig über Bildschirm und alphanumerischen Tasten verteilt. Betrachtet man Abb. 4.22 und Abb. 4.23 - Abb. 4.25 im Abschnitt 4.2.2, so wird deutlich, dass der obere Bereich der Steuerungen H1 und H2 sowie der Steuerung H3 mit Bildschirm und alphanumerischer Tastatur in einer Ebene außerhalb des empfohlenen Bereiches für eine optimale Wahrnehmung von Informationen bzw. für die Bedienung von Elementen liegt.

Den subjektiven Daten aus dem Fragebogen zufolge beeinflusste die Darstellung von Informationen auf dem Bedienpult, wie Zeichengröße und -art, oft deren Wahrnehmung während der Bedienung von CNC-Bedienpulten. Außerdem wurde auch – wie bereits in der Pilotstudie – die Wahrnehmung von Informationen auf dem Bedienfeld der Steuerung H2 aufgrund von Reflexionen kritisch gesehen. Reflexionen verbunden mit teilweise geringem Kontrast zwischen dem Hintergrund und den Zeichen auf dem Bildschirm haben möglicherweise die vollständige Wahrnehmung von Informationen behindert.

Oft wurde im Fall der Steuerung H3 auf eine wenig ergonomische Gestaltung und Anordnung der Bedienelemente hingewiesen. Dabei wurden Fehlbedienungen aufgrund der Mehrfachbelegung der Tasten sowie eine Verwechslung der Bedienelemente aufgrund deren Anordnung auf dem Bedienfeld H3 genannt. Demgegenüber wurde die Größe der Bedienelemente im Fall der Steuerung H3 eher positiv gesehen und selten kritisiert.

Interessanterweise wurden die Achsentasten bei den Bedienfeldern H1 und H3 anderes als bei der Steuerung H2 im Bereich der numerischen Tastatur gesucht, wo diese offensichtlich aus der Erfahrung mit anderen CNC-Steuerpulten erwartet wurden. Die Videoanalyse der

Versuche ergab, dass Achsentasten, die sich wie im Fall des Bedienfeldes H2 farblich von den anderen Bedienelementen unterscheiden und im numerischen Feld integriert sind, die Eingabe während des Einrichtungsprozesses erleichtern. Allerdings wurde die Eingabeübernahme-Taste auf dem Bedienfeld der Steuerung H2 im linken Bereich der numerischen Tastatur gesucht, die aus der Erfahrung mit PC-Tastaturen und Bedienfeldern anderer Steuerungen dort erwartet wurde.

Außerdem zeigt Abb. 4.37 in Abschnitt 4.2.5, dass Steuerung H1 hinsichtlich der Wahrnehmung von Informationen von den Anwendern durchweg positiver beurteilt wurde als Steuerung H3. Dies bezog sich gleichermaßen auf die Gestaltung von visuellen als auch haptischen Informationen. Die Auswertung der Videoanalyse zeigte, dass Suchprozesse nach relevanten Informationen auf dem Bedienfeld der Steuerung H3 im Durchschnitt signifikant länger dauerten als auf den Bedienfeldern der Steuerungen H1 und H2. Aufgrund der unüblichen Tastenanordnung wurden von der Dauer her zwar kurze, jedoch häufig vorkommende Suchprozesse nach Befehlstasten beobachtet.

Wie bereits in der Pilotstudie, konnte auch in Loop 1 lediglich ein tendenzieller Zusammenhang zwischen beruflicher Erfahrung und dem Erlernen der Bedienung der CNC-Steuerungen festgestellt werden. Trotz der jahrelangen Diskussionen zur Gestaltung einer eher einheitlichen Bedienung von Steuerungen bestehen nach wie vor große Unterschiede zwischen den Steuerungen unterschiedlicher Hersteller, was nicht zuletzt zu Lasten der Lernphase beim Umstieg von einem Hersteller auf den anderen geht.

Damit konnte die erste aufgestellte Arbeitshypothese mit Blick auf die uneinheitlich gestalteten Bedienfelder der untersuchten Steuerungen bestätigt werden.

5.2.2 Diskussion der Arbeitshypothese 2: Körperhaltungen während der Arbeit an einer CNC-Maschine

Die zweite für diese Untersuchung aufgestellte Arbeitshypothese besagt, dass Anordnung und Gestaltung eines modernen CNC-Arbeitsplatzes das Einnehmen überwiegend entspannter Körperhaltungen während der Arbeit an CNC-Maschinen erlaubt.

Wie in Abb. 4.22 im Abschnitt 4.2.2 dargestellt, lagen die Bildschirme aller untersuchten Bedienfelder, im Fall der Steuerung H3 auch die alphanumerische Tastatur, oberhalb des in der aktuellen Literatur ausgewiesenen empfohlenen Bereiches. Dies führt bei Personen mit geringeren Körpergrößen zu nach oben gerichteten Kopfhaltungen (Abb. 4.29 im Abschnitt 4.2.3), was mit zu gehäuften Nackenbeschwerden führte. Empfehlungen zur Anordnung wie sie z. B. in KIRCHNER & BAUM [1990], DIN EN ISO 9142 Teil 5 [1999] oder DIN EN 894 Teil 2 [2009] gegeben werden, gehen dagegen von einer leichten Neigung des Kopfes von bis zu 45° unter der horizontalen Achse³⁴ aus. Entsprechend wird nicht empfohlen, die Bedienelemente über der horizontalen Achse anzuordnen. Im Rahmen der Untersuchung wurde jedoch im Fall des Bedienfeldes der Steuerung H1 festgestellt, dass für etwa die

³⁴ Für die Angabe der Sehrichtung verwendet man i. d. R. den Begriff der Sehachse. Nach DIN EN 894 Teil 2 [2009] liegt diese 15°-30° unter der horizontalen Achse. Für die Erläuterung von Ergebnissen werden die Winkelangaben von der horizontalen Achse verwendet, um die Darstellung zu erleichtern.

Hälfte der Personen während der Bedienung der CNC-Maschine ein Hochschauen oberhalb der horizontalen Achse erforderlich war.

Weiter konnten einige Bedienelemente wie z. B. der Knebelknopf, nur in ungünstiger Hand-Arm-Position betätigt werden (vgl. hierzu Abb. 4.43 im Abschnitt 4.2.9), die nach DIN EN 894 Teil 3 [2010] vermieden werden sollte. Dabei kann die Situation bei einem ungünstigen Verhältnis zwischen der Anbauhöhe des Bedienelements einerseits und der Körpergröße des Maschinenführers andererseits noch verschlimmert werden. Die nicht vorhandene Handauflagefläche an den Bedienfeldern führte auch dazu, dass die Auszubildenden sich während der Programmierarbeiten an die Maschine oder das Bedienfeld anlehnten, um eine entspannte, stehende Körperhaltung einzunehmen. Dabei war dann auch eine Betätigung der Bedienelemente mithilfe des Daumens zu beobachten. Auch wurde der Daumen bei der Betätigung tief auf dem Bedienfeld eingebauter Stellteilen eingesetzt (vgl. Abb. 4.30 im Abschnitt 4.2.5). Zwar stellt die Dateneingabe in die CNC-Steuerung eine Tätigkeit mit überwiegend psychischen Anforderungen dar, bei einer ungünstig positionierten Steuerung kann es jedoch darüber hinaus auch zu körperlichen Zwangshaltungen kommen [siehe auch VOLLMER, 1995], die vermieden werden sollten.

Die Gewährleistung von Sicherheit im Betrieb bei der Arbeit mit CNC-Werkzeugmaschinen wird heute vorausgesetzt. Da moderne CNC-Maschinen mit hohen Geschwindigkeiten arbeiten, werden trennende Schutzeinrichtungen zum Schutz der Beschäftigten eingebaut. Sichtfenster erlauben dabei den Blick auf den Fertigungsprozess. Wie Abb. 4.41 im Abschnitt 4.2.9 verdeutlicht, wird durch deren Dimensionierung und Gestaltung auch die Körperhaltungen (Abb. 4.41 im Abschnitt 4.2.9), welche die Personen bei der Bedienung unterschiedlicher CNC-Maschinen eingenommen haben, nicht unwesentlich beeinflusst.

So erlaubten groß dimensionierte Sichtfenster einen guten Einblick in den Fertigungsraum und führten während des Einrichtungs- oder Beobachtungsprozesses zu keinen oder nur seltenen gebeugten und/oder verdrehten Körperhaltungen. So hatten Beobachtungen während des Bearbeitungsprozesses an einer Drehmaschine mit einem großen Sichtfenster nur leichte Körperneigungen oder Kopfdrehungen zur Folge. Ebenso kam es bei Fräsmaschinen mit ausreichend großen Sichtfenstern und mit einem tiefer als das Futter der Drehmaschinen angebauten Arbeitstisch nur gelegentlich zu einer gebeugten oder verdrehten Körperhaltung (vgl. Abb. 4.41 c und d). Am häufigsten kam es während der Bedienung von Werkzeugmaschinen mit unvorteilhaft angebauten Sichtfenstern zu ungünstigen Körperhaltungen. Dazu gehören beispielsweise kleine Sichtfenster (Abb. 4.41, e), aber auch durch zwei Türen geteilte Schutzeinrichtungen (Abb. 4.41, f). Geteilte Schutzeinrichtungen führten dazu, dass die Personen sich jeweils für eines der Sichtfenster entscheiden mussten, um einen möglichst günstigen Einblick in den Fertigungsraum zu erhalten.

Zudem war nicht selten die Sicht auf den Fertigungsraum durch Ablagerungen von Kühlschmierstoff auf den Sichtfenstern beeinträchtigt (vgl. Abb. 4.42 im Abschnitt 4.2.9). Diese Problematik wurde bereits in den Untersuchungen von z. B. FAILMEZGER et al. [1989] und SCHULZE & GLOCKNER [1999] diskutiert und stellt, wie die Ergebnisse aus Loop 1 zeigten, nach wie vor einen Schwachpunkt dar.

Die Ausführungen zu den durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass mit Blick auf nicht selten ungünstig angebaute Bedienfelder und unvorteilhaft gestaltete Schutzeinrichtungen

die Arbeit an CNC-Maschinen nach wie vor mit ungünstigen Körperhaltungen verbunden ist und somit die zweite für diese Untersuchung aufgestellte Arbeitshypothese aus den Ergebnissen von Loop 1 nicht bestätigt werden konnte.

5.3 Diskussion der Ergebnisse aus Loop 2 „CNC-Arbeitsanalyse“

In Loop 2 wurden an insgesamt 86 Arbeitsplätzen 768 Arbeitsvorgänge zusammengestellt, an denen an unterschiedlichen computergesteuerten Werkzeugmaschinen mit verschiedenen Steuerständen gearbeitet wurde. Die verschiedenen Arbeitsvorgänge und die sie charakterisierenden Tätigkeiten wurden dabei jeweils dokumentiert.

Die in den beteiligten Betrieben praktizierte Arbeitsteilung sorgte dafür, dass an einigen Arbeitsplätzen kein Tätigkeitswechsel vorgesehen war. Damit verbunden ist natürlich ein höheres Risiko einseitiger psychischer und/oder physischer Belastungen.

Wie die Auswertungen zeigten, betrug der Anteil der Arbeitsvorgänge mit Bedientätigkeiten (vgl. Abschnitt 4.3.1.2, Tab. 4.13), die unmittelbar an der Maschine durchgeführt wurden, weniger als die Hälfte aller Arbeitsvorgänge. Mehr als die Hälfte der Arbeitsvorgänge wurden nicht unmittelbar an der Maschine ausgeführt. Hierzu zählen Arbeiten im Werkstattbereich, wie z. B. der Transport von Materialien unter Einsatz von Hilfsmitteln wie z. B. eines Gabelstaplers.

Bei Betrachtung der durchschnittlichen zeitlichen Anteile ist festzustellen, dass der Anteil der Bedientätigkeiten im Schnitt deutlich höher war als der zeitliche Anteil der sonstigen Tätigkeiten und im Mittel etwa 5,5 Stunden an einem Arbeitstag betrug. Mit zwei und 7,5 Stunden variierten die zeitlichen Anteile der Bedientätigkeiten zwischen den betrachteten Arbeitsplätzen erheblich. Dabei nahmen die Bedien- und Überwachungstätigkeiten durchschnittlich ca. 60% der Bedienzeit an einer CNC-Maschine in Anspruch. Während andere Arbeitstätigkeiten sich über den Arbeitstag verteilten, wurden Bedien- und Überwachungstätigkeiten auch ununterbrochen in einem Arbeitsvorgang am ganzen Arbeitstag ausgeführt. Dies war an jedem fünften Arbeitsplatz zu beobachten.

Programmiertätigkeiten waren die am kürzesten an einem Arbeitstag durchzuführenden Tätigkeiten. Diese wurden an lediglich 16% der betrachteten Arbeitsplätze beobachtet und konnten ununterbrochen bis zu zwei Stunden andauern. Weitere Arbeitstätigkeiten, wie das Einrichten, Beschicken sowie Wartungs- und Kontrolltätigkeiten wurden meist über kürzere Zeiträume, jedoch mit mehreren Wiederholungen (bis zu 1.000 Mal) ausgeführt. Allerdings konnten auch aufwendige Aufgaben bis zu sechs Stunden in einem Arbeitsvorgang in Anspruch nehmen.

5.3.1 Diskussion der Arbeitshypothese 2: Körperhaltungen während der Arbeit an einer CNC-Maschine

Wie bereits zuvor ausgeführt, besagt die zweite für diese Untersuchung aufgestellte Arbeitshypothese, dass Anordnung und Gestaltung eines modernen CNC-Arbeitsplatzes das Einnehmen überwiegend entspannter Körperhaltungen während der Arbeit an CNC-Maschinen erlaubt.

Zwar wurden in 70% aller Arbeitsvorgänge aufrecht stehende Körperhaltungen unter meist guten ergonomischen Bedingungen vorgefunden, doch waren diese zu einem großen Teil an nicht-höhenverstellbaren Steuerständen und meistens ohne Sitzgelegenheit am Arbeitsplatz über einen längeren Zeitraum (bis zu sieben Stunden an einem Arbeitsplatz) durchzuführen.

In Loop 2 war ebenso wie bei der Untersuchung in den Lehrwerkstätten eine Tendenz zum Abstützen an das Bedienfeld während Programmier- sowie Bedien- und Überwachungstätigkeiten zu beobachten (vgl. Abb. 4.47 im Abschnitt 4.3.1.3). Dies offensichtlich mit dem Ziel, während des lang andauernden Stehens eine entspanntere Körperhaltung einzunehmen und so den Rücken zu entlasten. Außerdem wurde bei jedem fünften Bedienvorgang das ungünstige Stehen mit vorgeneigter und/oder verdrehter Körperhaltung beobachtet (vgl. Abb. 4.46 im Abschnitt 4.3.1.3). Dies hing überwiegend mit der ungünstigen Gestaltung des Arbeitsplatzes sowie der Beobachtung des Fertigungsprozesses zusammen.

An jedem zehnten Arbeitsplatz wurde den ganzen Arbeitstag über ausschließlich im Stehen gearbeitet. Dabei wurden die Bedientätigkeiten überwiegend bei stehenden Körperhaltungen durchgeführt. Aufgrund der in den Betrieben praktizierten Arbeitsteilung konnten Bedien- und Überwachungstätigkeiten bei jedem fünften Arbeitsplatz zwischen einem halben bis zu ganzen Arbeitstag andauern. Auch diese Tätigkeiten wurden meist im Stehen durchgeführt. Bei lediglich 4% der Bedienvorgänge wurde eine sitzende Körperhaltung eingenommen. Dieses Ergebnis steht nicht im Einklang mit den in DIN EN ISO 14738 [2002] und KIRCHNER & BAUM [1990] genannten Empfehlungen, nach denen während der Arbeit an einem CNC-Maschinenarbeitsplatz möglichst ein freier Wechsel zwischen stehenden und sitzenden Körperhaltungen gegeben sein sollte.

So wurde an etwa der Hälfte der untersuchten Arbeitsplätze lediglich bis zu einer Stunde im Sitzen gearbeitet. An 20% der Arbeitsplätze betrug der Zeitraum dagegen zwischen vier und fünf Stunden. Meist wurden sitzende Körperhaltungen über einen längeren Zeitraum bei Bedien- und Überwachungstätigkeiten sowie Programmierfähigkeiten beobachtet.

Anders als bei Bedientätigkeiten wurden die sonstigen Tätigkeiten etwa zur Hälfte im Stehen und zu einem Drittel im Sitzen durchgeführt. Dabei konnte bis zu drei Stunden im Sitzen und bis vier Stunden im Stehen gearbeitet werden. Die Dauer von Körperbewegungen, wie z. B. das Gehen zwischen den Maschinen bei Mehrmaschinenbedienung, konnte insgesamt bis zu 30 Minuten betragen.

Trotz der vorgefundenen überwiegend guten ergonomischen Bedingungen zeigten auch die Ergebnisse der in Loop 2 durchgeführten Arbeitsanalysen, dass mit Blick auf die geringen Möglichkeiten eines Wechsels zwischen sitzenden und stehenden Körperhaltungen, auch aufgrund nicht-vorhandener Sitzgelegenheiten bzw. Stehhilfen, die zweite Arbeitshypothese nicht vollständig bestätigt werden konnte.

5.3.2 Diskussion der Arbeitshypothese 3: Gestaltung bezüglich der körperlichen Belastungen

Die dritte Arbeitshypothese besagt, dass mit der Einführung von CNC-Maschinen die Schwere der Arbeit hinsichtlich körperlicher Belastungen abgenommen hat.

Bewegungen innerhalb der Arbeitszone sowie bei Mehrmaschinenbedienung zwischen den Maschinen wurden meist bei aufrechter Körperhaltung durchgeführt. Eher selten waren hier eine leicht gebeugte Körperhaltung oder ein Gehen mit Last zu beobachten. Etwa ein Drittel aller Arbeitsvorgänge wurden als mittelschwere Handarbeit eingestuft. Hierzu zählt z. B. das Verschieben von Werkstücken mit der Hand oder das Anheben von Lasten. 4% der Arbeitsvorgänge bei Einrichtungstätigkeiten und 13% der Beschickungstätigkeiten wurden als schwere Handarbeit eingestuft. Hierzu zählen z. B. das Anheben, Bewegen und/oder Greifen großer Lasten. Die übrigen Arbeitsvorgänge wurden als leichte Handarbeit eingestuft. Dies gilt z. B. für das Ausüben von leichtem Druck durch Finger oder das Halten von Werkstücken mit geringem Gewicht. Programmierstätigkeiten wurden durchgängig als leichte Handarbeit eingestuft.

Demgegenüber wurden jedoch in 40% der Arbeitsvorgänge bei Einrichtungstätigkeiten Lasten bis zu 50 kg ohne Hilfsmittel gehandhabt bzw. es wurde über keine Hilfsmittel berichtet. Die Handhabung von den Lasten war zwar zeitlich kurzfristig aber mit mehrfachen Wiederholungen durchzuführen. Schwere Lasten wurden in wenigen Wiederholungen bis zu 60 Mal und leichtere bis zu 800 Mal mit und oft ohne Hilfsmittel in einem Arbeitsvorgang gehandhabt. Die vorhandenen Hilfsmittel wurden oft aufgrund des damit verbundenen höheren Zeitaufwandes nicht eingesetzt.

Aus den Untersuchungen kann zusammenfassend festgestellt werden, dass zwar Arbeitsvorgänge mit meist geringer körperlicher Belastung überwiegen, jedoch in vielen Fällen die Handhabung auch schwerer Lasten ohne passendem Hilfsmittel zu beobachten ist und daher die Arbeitshypothese 3 nur eingeschränkt bestätigt werden konnte.

5.4 Diskussion der Ergebnisse aus Loop 3 „Handmaße“

Die Ergebnisse der in Loop 3 durchgeführten anthropometrischen Messungen und die hieraus abgeleiteten Verteilungsdaten stimmten nur begrenzt mit den Angaben in DIN 33402 Teil 2 [2005] und DIN 7250 Teil 2 [2013] sowie in GREIL et al. [2008] überein. Trotz der relativ kurzen Zeiträume zwischen den einzelnen Datenerhebungen (vgl. Tab. 11.5 - Tab. 11.8 in Anhang 8 und Anhang 9) waren Änderungen der Verteilungsdaten zu verzeichnen. So war z. B. in der hier beschriebenen Untersuchung in Loop 3 bei allen Perzentilwerten eine Erhöhung der Daumen- und Zeigefingerdicken in allen Altersgruppen zu beobachten. So wurde gegenüber den in DIN 33402 Teil 2 [2005] dokumentierten Wertangaben eine deutliche Zunahme des 95. Perzentils der Daumendicke festgestellt. Mit bis zu 4 mm war diese Zunahme insbesondere bei männlichen Personen in der Altersgruppe 60-65 Jahre zu beobachten. Wie aus Tab. 11.3 und Tab. 11.4 in Anhang 7 ersichtlich war wahrscheinlich weniger das deutlich gestiegene 95. Perzentil des Körpergewichts hierfür Ausschlag gebend, sondern eher die ebenfalls deutlich gestiegene Körpergröße (vgl. Tab. 11.1 und Tab. 11.2 in Anhang 6). Die gleiche Tendenz war beim Vergleich mit den Wertangaben aus GREIL et al [2005] zu beobachten. Dabei stiegen die Werte des 95. Perzentils für weibliche Probanden über alle Altersgruppen um bis zu 4 mm.

Mit Blick auf die älter werdende Bevölkerung insgesamt und die Auswirkungen auch im Arbeitsleben (Stichwort: Rente mit 67) erscheint es sinnvoll, bei der ergonomischen Gestaltung von Produkten im Arbeits- wie im Privatleben auch anthropometrische Daten der Bevölkerung oberhalb eines Alters von 65 Jahren zu berücksichtigen. Tab. 4.26 in Abschnitt

4.4.2 zeigt hierzu, dass bei Ausweitung der oberen Altersgruppe im Rahmen dieser Untersuchung keine wesentlichen Veränderungen der Verteilungswerte festgestellt wurden. Einschränkend muss bei diesem Ergebnis darauf hingewiesen werden, dass die Anzahl der durch Ausweitung der Altersgruppe dann mit berücksichtigten Personen nicht wesentlich erhöht werden konnte.

Die Auswertung der anthropometrischen Daten nach Berufsgruppen – Produktionsberufe und andere Berufstätigkeiten – zeigten einige, zumeist geringfügige Unterschiede bei den Verteilungsdaten. So waren die Werte des 5. und 50. Perzentils der Daumendicke bei Probanden aus Produktionsberufen um 1 mm höher als bei Probanden anderer Berufe. Bei den Zeigerfingerdicken war ein geringfügiger Unterschied der Werte des 50. Perzentil zu erkennen. Außerdem war beim Vergleich der Verteilungswerte der Altersgruppen 60-65 und 60-67 Jahre eine geringfügige Steigerung des 50. Perzentils der Daumendicke und des 5. Perzentils der Zeigerfingerdicke um jeweils 1 mm zu verzeichnen. Insgesamt können diese Unterschiede als nicht wesentlich bezeichnet werden.

5.4.1 Diskussion der Arbeitshypothese 4: Übereinstimmung der Abmessungen von Bedienelementen mit aktuellen anthropometrischen Maßen

Die vierte Arbeitshypothese besagt, dass die Abmessungen der Bedienelemente moderner Bedienfelder den anthropometrischen Maßen der modernen Bevölkerung entsprechen.

Im Allgemeinen entsprachen die auf den Bedienfeldern vorgefundenen Stellteile den bestehenden Anforderung an die Gestaltung von Bedienelementen [vgl. SCHMIDTKE, 1989; DIN EN 894-3, 2010]. Diese legen eine Betätigung mit dem Zeigefinger zugrunde. Aufgrund der nicht immer günstigen Anordnung der Bedienelemente und des Bedienfeldes war jedoch im Rahmen dieser Untersuchung bei fast jedem Probanden auch eine Betätigung der Bedienelemente mit dem Daumen zu beobachten (vgl. Abschnitt 4.2.5). Legt man eine Betätigung der Bedienelemente mit dem Daumen zugrunde, so müssten diese zwangsläufig größere Abmessungen aufweisen, um eine sichere Bedienung zu gewährleisten. Im Fall der in Loop 1 (Untersuchung mit dem Eye-Tracker) untersuchten Bedienfelder war daher die Möglichkeit groß, dass z. B. ein 95. Perzentil Mann und auch eine 95. Perzentil Frau zwei nebeneinander liegende Tasten gleichzeitig bedienen und so einen Bedienfehler auslösen (vgl. Abschnitt 4.2.5 sowie Abschnitt 4.4.2).

Möglicherweise war dieser Umstand mitverantwortlich dafür, dass Bedienungsfehler als eine häufige Ursache für Fehlbedienungen beschrieben wurden (vgl. Abschnitt 4.1.4). Die Ergebnisse der in Abschnitt 4.1.2.2 dargestellten Pilotstudie ebenso wie die aus Loop 1 (vgl. Abschnitt 4.2.6.2) zeigen, dass sich die befragten Personen unabhängig von ihrem Körperbau kritisch zu der Größe der Stellteile äußerten und auch Verbesserungsmaßnahmen vorgeschlagen haben (vgl. Abschnitt 4.1.6).

Insgesamt muss daher auf der Grundlage der durchgeführten Untersuchungen festgestellt werden, dass die vierte Arbeitshypothese nicht bestätigt werden konnte.

6 Ausblick und Empfehlungen

6.1 Ausblick

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie geben Hinweise für einige Verbesserungspotenziale sowohl bei der Gestaltung von Bedientableaus, bei der Gestaltung des Arbeitsprozesses an der CNC-Maschine ebenso wie für den gesamten CNC-Maschinenarbeitsplatz. Im Folgenden werden mögliche Gestaltungsmaßnahmen schwerpunktgemäß vorgestellt.

6.1.1 Gestaltungsmaßnahmen zur Informationsdarstellung

Einer der wichtigen Ansatzpunkte bei der Gestaltung von CNC-Maschinensteuerungen und Bedienoberflächen stellt ein möglichst – auch über Herstellergrenzen hinweg – einheitliches Bedienkonzept und Design dar. Dass dem aktuell nicht oder nur sehr begrenzt so ist, zeigten die Ergebnisse aus Loop 1 (Eye-Tracking) und Loop 2 (Arbeitsanalyse); frühere Erfahrungen mit anderen Steuerungen waren beim Erlernen neuer Steuerungen nur begrenzt hilfreich. Hierbei ist die Anlehnung an vorhandene Normen und Empfehlungen bei der Gestaltung von Bedienoberflächen durch Steuerungshersteller zu empfehlen. Dabei ist nicht nur eine auch im internationalen Kontext einheitliche Symbolik für das Verständnis hilfreich, sondern begünstigt auch das Erlernen neuer Oberflächen. Ein einfaches, einheitliches und verständliches Design unterstützt den schnellen und effektiven Lernprozess für Personen jeden Alters und jeder Nationalität. Hierbei sind bei der Einführung neuer Symbole internationale Untersuchungen zu empfehlen, um die intuitive Wahrnehmung für jedermann zu gewährleisten.

Ergebnisse aus der Pilotstudie und Beobachtungen aus Loop 1 zeigen eine mitunter schlechte Einsicht in den Fertigungsraum während des Bearbeitungsprozesses auf. Dies war u. a. auch durch das Schmiermittel verursacht. Eine mögliche Maßnahme wäre hier z. B. der Einsatz eines rotierenden Sichtfensters, das durch eine Drehscheibe den Blick in den Fertigungsraum ermöglicht. Auch wäre die Überwachung des Bearbeitungsprozesses mit Hilfe eingebauter Kameras zu prüfen.

6.1.2 Gestaltungsmaßnahmen: Körperhaltungen und körperliche Belastungen

Sowohl die Ergebnisse aus Loop 1 (Eye-Tracking) als auch Loop 2 (CNC-Arbeitsanalyse) zeigten einheitlich, dass sich Personen während der Programmier Tätigkeiten auf dem Bedienfeld einer CNC-Maschine abstützten, um bei längeren, stehenden Körperhaltungen den Rücken zu entlasten. Außerdem wurde festgestellt, dass an einigen Arbeitsplätzen keine Tätigkeitswechsel zu beobachten waren, was naturgemäß einseitige Belastungen begünstigt. Hier wäre eine flexible Gestaltung des Arbeitstages beim Durchführen von Arbeitstätigkeiten durch den Arbeitnehmer selbst wünschenswert.

Des Weiteren wurde in Loop 2 festgestellt, dass es oft zur Handhabung von schweren Lasten häufig ohne Verwendung von Hilfsmitteln kam. Zum Teil wurde dies durch den höheren Zeitaufwand bei Einsatz von Hilfsmitteln erklärt. Dies kann durch das Bereitstellen passender Hilfsmittel am Arbeitsplatz gelöst werden. Für eine gemeinsame Lösungsfindung können Gespräche dienen, in denen Belastungsschwerpunkte an Arbeitsplätzen und

Maßnahmen zu deren Reduzierung erörtert werden. Auch die Durchführung einer Arbeitsanalyse für die Ermittlung von Problembereichen ist hierbei zu empfehlen.

6.1.3 Gestaltungsmaßnahmen: Anpassung an aktuelle anthropometrische Daten

Wie die Ergebnisse aus Loop 3 (Handmaße) zeigten, waren Veränderungen der anthropometrischen Daten im Fall der Zeigerfinger- und Daumendicke um einige Millimeter und bei den Körpergrößen um einige Zentimeter auch über einen kürzeren Zeitraum hinweg festzustellen. Aktuelle, anthropometrische Daten tragen mit dazu bei, Produkte für das alltägliche Leben ebenso wie Arbeitsmittel am Arbeitsplatz ergonomisch zu gestalten und deren sichere Handhabung zu gewährleisten.

Außerdem spielen sie oft eine wichtige Rolle bei der sicherheitsgerechten Gestaltung im Betrieb. Dies gilt z. B. sowohl für die persönliche Schutzausrüstung wie auch für sicherheitsbezogene Aspekte bei der Gestaltung von Arbeitsplätzen und hier insbesondere Arbeitsmitteln. Die Arbeit von WETZEL [2012] zeigte die Wichtigkeit der Anwendung aktueller anthropometrischer Daten. Bei der Überprüfung der Aktualität eines Prüfmittels stellte sich heraus, dass 40% des untersuchten Kollektivs nicht in ausreichendem Maße berücksichtigt wurden. Hieran zeigt sich die Notwendigkeit der Erarbeitung und Fortschreibung von Normen mit anthropometrischen Daten und damit verbundenen Normen zu sicherheitsbezogenen Aspekten.

Die Ergebnisse aus Loop 3 dieser Untersuchung können mit dazu beitragen, die Mindestanforderungen für die Gestaltung und Anordnung von Stellteilen auf Bedienfeldern kritisch zu prüfen und ggfs. zu überarbeiten. Hierzu sind jedoch weitere Erhebungen anthropometrischer Daten an einem größeren Kollektiv notwendig und empfehlenswert.

6.2 Empfehlungen zur Auswahl und Gestaltung von CNC-Maschinen

Anhand der Ergebnisse aus der vorliegenden Studie werden in den folgenden Abschnitten Vorschläge zur Gestaltung der Bedienoberflächen von CNC-Maschinen sowie zur Gestaltung des CNC-Maschinenarbeitsplatzes allgemein gegeben, die auch bei der Auswahl geeigneter Systeme eingesetzt werden können.

6.2.1 Gestaltung des Bedienfeldes: Verbesserung der Informationsübertragung

Gestaltung der Bedienoberfläche.

- Für eine allgemeine Verbesserung der Oberflächengestaltung und zur Fehlerreduktion ist u. a. ein sicherer Druckpunkt bei den Bedienelementen ebenso wie eine dauerhaft bleibende Beschriftung der Bedienelemente empfehlenswert.
- Ein einheitliches und verständliches Design hilft bei der Übertragung von Erfahrungen von einem Steuerstand auf einen anderen. Hierdurch kann der Erlernzeitraum ebenso wie die Einführung einer neuen CNC-Maschine in den Betrieb verkürzt werden.

- Bei der Gestaltung der Bedienoberfläche sollte die Anordnung der relevanten Elemente des Bedienfeldes in einer ergonomisch günstigen Höhe sichergestellt sein (vgl. Abschnitt 4.2.3).

Gestaltung visueller Informationen.

- Für die sichere Wahrnehmung visueller Informationen auf dem Bildschirm ebenso wie auf dem Bedienfeld ist die Verwendung reflektionsarmer Bildschirme und Lacke für die Oberflächengestaltung wesentlich.
- Größere Bildschirme sowie größere Zeichen und Symbole erleichtern die Wahrnehmung von Informationen für alle Altersgruppen insbesondere für ältere Arbeitnehmer. Hierbei kann eine individuelle Einstellung der Zeichengröße von Vorteil sein.
- Ebenso ist ein guter Kontrast zwischen den Zeichen und dem Hintergrund für die Wahrnehmung von Informationen auf dem Bildschirm wichtig. Auch hier ist das Vorsehen einer individuellen Einstellbarkeit der Informationsdarstellung zu empfehlen.

Gestaltung haptischer Informationen.

- Die Verwendung einer üblichen Tastenbelegung, welche man aus dem alltäglichen Leben kennt, wie z. B. die QWERT-Tastatur, unterstützt auch beim Bedienfeld eines CNC-Maschinensteuerstandes die schnelle und effektive Eingabe von Befehlen.
- Eine Berücksichtigung aktueller anthropometrischer Maßen sowohl bei der Anordnung des Bedienfeldes (hier: Körpergröße) als auch bei der Gestaltung der Bedienelemente (hier: Zeigefinger und Daumen) sollte gegeben sein.
- Für eine effektive Eingabe bei Einricht- und/oder Programmierungstätigkeiten an der CNC-Maschine sollte die oft benutzte Achsentasten (wie X, Y und Z) mit in den numerischen Block integriert sein.
- Die Aktionstasten, wie Spindel- oder Vorschub-Override (Schrittmaßweite) sollte möglichst rund gestaltet sein, um ein sicheres Positionieren des Drehknopfes und eine ergonomische Bedienung zu gewährleisten.

6.2.2 Allgemeine Gestaltung der CNC-Maschine

Gestaltung während des Fertigungsprozesses.

- Bedienfelder sind nicht zu groß, jedoch übersichtlich unter Einsatz von Softwaretasten zu gestalten, um zu tief auf dem Bedienfeld angeordnete Stellteile zu vermeiden. Dies kann wiederum die Eingabe von Befehlen und die Bedienung der Maschine erschweren.
- Rotierende und höhenverstellbare Bedienfelder müssen eine einfache Fixierungsmöglichkeit enthalten, um das Verstellen während der Betätigung umliegender Bedienelemente und somit mögliche Bedienfehler zu vermeiden.
- Zur Entspannung bei längeren Arbeiten im Stehen sollten Abstützgelegenheiten vorgesehen sein. Dies kann z. B. durch die Gestaltung reliefreicher Bedienfeldern erreicht werden.
- Die Bedienelemente auf dem jeweiligen Bedienfeld sind so anzubringen, dass dies dem ausgewählten Interaktionssystem entspricht und in einem ergonomisch günstigen Bereich liegt.

Gestaltung der Schutzeinrichtungen.

- Große Sichtfenster sind empfehlenswert, um einen sicheren Einblick in den Fertigungsraum während z. B. des Einrichtungs- und/oder Bearbeitungsvorganges zu ermöglichen. Dabei ist auch auf die Höhe über dem Boden zu achten.
- Bei der Bearbeitung von Werkstücken, bei denen die Überwachung des Fertigungsprozesses entscheidend ist, sind rotierende Sichtfenster für eine bessere Überwachung des Produktionsprozesses geeignet. Auch können Kameras im Fertigungsraum hilfreich sein.
- Bei relativ kleinen Bearbeitungsräumen und/oder bei fest an der CNC-Maschine angebauten Bedienfeldern sind zwei vor dem Arbeitstisch schließende Türen nicht zu empfehlen und einteilige Schutzvorrichtungen einzusetzen. Zweiteilige Ausführungen erschweren die Einsicht bei den präzisen Einrichtungstätigkeiten erheblich.

6.2.3 Gestaltung des CNC-Maschinenarbeitsplatzes bzgl. Körperhaltungen

Körperhaltung.

- Zur Vermeidung gebeugter und verdrehter Körperhaltungen sollte auf tief angebaute Vorrichtungen, zwei vor dem Arbeitstisch schließende Türen oder zu weit vom Fertigungsraum angeordnete Bedienfelder verzichtet werden.
- Mit Blick auf mögliche, z. T. große Unterschiede bei den Körpergrößen der Maschinenführer sind höhenverstellbare Bedienfelder vorzuziehen, bei denen durch eine entsprechende Anordnung eine auf Dauer anstrengende Kopfposition „nach oben schauen“ vermieden werden kann.
- Eine Entspannung des Rückenbereichs bei länger andauernden Arbeiten im Stehen kann durch eine Stützgelegenheit am Bedienfeld unterstützt werden (vgl. hierzu Abschnitt 6.2.2).
- Die Belastung durch das Stehen selbst lässt sich durch geeignete Stehhilfen reduzieren. Dabei sind Sattelsitze zu empfehlen. Durch die Ausstattung mit Rollen kann ein weiter Arbeitsbereich erreicht werden.

7 Ergänzende Begriffserklärungen

NC-Technik vs. CNC-Technik

Die Entwicklung von Werkzeugmaschinen über die letzten 30-40 Jahre hat die Arbeit in der Industrie in jeder Hinsicht verändert. Dies zählt auch für den Übergang von der „NC-Maschine“ zur „CNC-Maschine“. Hierzu ist zu erwähnen, dass die moderne Werkzeugmaschine und deren Elemente u. a. als CNC-Maschinen, CNC-Steuerung und CNC-Programmierung bezeichnet wird. Jedoch sind auch Begriffe wie NC-Technik, NC-Programm und NC-Programmierer in den Produktionsbereichen üblich. Die Begrifflichkeiten werden auch bei modernen Werkzeugmaschinen häufig synonym verwendet [LIEBERWIRTH, 1988; KIEF & ROSCHI WAL, 2009]. In der vorliegenden Arbeit werden die entwicklungsentsprechenden Begriffe verwendet. Verallgemeinert spricht man an dieser Stelle von „CNC-Technik“.

Nullpunkt

Bei dem in dieser Untersuchung verwendeten Begriff des Nullpunkts handelt sich um den Werkstücknullpunkt, welcher während der Einrichtungsphase durch den Maschinenführer für jede Achse bestimmt wird.

Geschlechtsneutrale Begriffe

Die in dieser Arbeit für Personen verwendete Begriffe, wie z. B. Maschinenführer, (Maschinen-)Operator, Proband etc., sind durchgängig als geschlechtsneutral zu verstehen. Die in dieser Arbeit beschriebenen Benutzergruppen von CNC-Werkzeugmaschinen berücksichtigen sowohl weibliche als auch männliche Personen.

8 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1:	Grafische Darstellung der Struktur und Inhalte der vorliegenden Arbeit	10
Fig. 1.1:	Graphical representation of the structure and contents of this paper	13
Abb. 2.1:	Werkzeugmaschine als Element eines Arbeitssystems	28
Abb. 2.2:	Softkeys im Vergleich am Beispiel einer Oberfläche (Siemens 810 D für CNC-Drehmaschine TC65) bei der Ausführung unterschiedlicher Arbeitsaufgaben	29
Abb. 2.3:	Oberfläche Siemens 810 D für eine CNC-Drehmaschine: 1 – kontextabhängige Tasten (Softkeys); 2 – dialogspezifische Tasten; 3 – maschinenspezifische Tasten; 4 – alphanumerische Tasten.	30
Abb. 2.4:	Anforderungen an Bewerber für Ausbildung zum Industriemechaniker	31
Abb. 2.5:	Ein Beispiel eines Programmierplatzes iTNC von Heidenhain.....	33
Abb. 2.6:	Werkstatorientierte Programmierung mit der Oberfläche „Shop Turn“ von Siemens	34
Abb. 2.7:	Beispiel für eine werkstatorientierte Programmierung: Oberfläche „Manuel Guide“ von Fanuc.....	34
Abb. 2.8:	Unterschiedliche Ausführungen von CNC-Bedienpulten.....	35
Abb. 2.9:	Ein Beispiel zur Umsetzung des Style-Guides für die Bedienoberfläche einer CNC-Fräsmaschine.....	37
Abb. 2.10:	Touchscreen WOP-Oberfläche TruTops Bend einer TRUMPF Biegemaschine.....	37
Abb. 2.11:	Unterstützung durch eine Konsole mit wichtigen, u. a. fußbetätigten Bedienelementen an der Biegemaschine TruBend 5000.....	38
Abb. 2.12:	Arbeit an einem CNC-Maschinensteuerstand: Maschinenführer mit unterschiedlicher Körpergröße (l.: 197 cm; r.: 165 cm)	43
Abb. 2.13:	Grafische Darstellung der Struktur und Inhalte dieser Arbeit	45
Abb. 3.1:	Beispielhafte Darstellung unterschiedlicher Ausführungen von Bedienfeldern	47
Abb. 3.2:	Head-mounted Eye-Tracking-System von Ergoneers® (l) und Anbringen von Markers an einer CNC-Maschine (r).....	51
Abb. 3.3:	Einige für die Checkliste vorgenommene Messungen an der Werkzeugmaschine: 1, 2, 3 – Höhe der wichtigsten Bedienelemente 4 – Abstand „Mitte des Bedienfeldes – Mitte des Fertigungsraums“ bzw. „bis zum Futter“.....	53
Abb. 3.4:	Festlegen von Interessensbereichen (Areas of Interest) im Bedienungsereich	54
Abb. 3.5:	Festlegung der Interessenbereiche (Areas of Interest) im Fertigungsraum.....	55
Abb. 3.6:	Beispiel einer Eingabemaske des eingesetzten Analyse- und Beurteilungstools BDS.	58
Abb. 3.7:	3D-Scanner zur Erfassung anthropometrischer Daten des Hand-Unterarm-Systems.....	60
Abb. 3.8:	Ansichtsmöglichkeiten der Handabbildungen im 3D-Format.....	61

Abb. 3.9:	Möglichkeit der Drehung der Handperspektive	61
Abb. 3.10:	Messverfahren zur Aufnahme der Werten der distalen Fingerbreite des Daumens und der Zeigefinger [aus DIN 33402 Teil 2]	62
Abb. 3.11:	Übertragung der gemessenen Werte in eine Access-Datenbank	62
Abb. 4.1:	Untersuchte Steuerstände H1, H2 und H3 (v. l. n. r.)	65
Abb. 4.2:	Beurteilung der Bedienerführung während der Bedienung einer CNC-Maschine von Personen mit unterschiedlich langer Erfahrung.....	66
Abb. 4.3:	Beurteilung der Bedienung von CNC-Maschinen in Bezug auf unterschiedliche Steuerungshersteller.....	66
Abb. 4.4:	Beurteilung der Bedienung einer CNC-Maschine zu Beginn und zur Zeit der Ausbildung	67
Abb. 4.5:	Vergleich der Beurteilung der Bedienung von CNC-Maschinen von Personen mit und ohne Erfahrung mit anderen, in dieser Untersuchung nicht betrachteten Steuerständen.....	68
Abb. 4.6:	Schlechte Lesbarkeit von Symbolen und Zeichen auf dem Bildschirm	69
Abb. 4.7:	Grad der Übereinstimmung mit der Aussage „Die Schriften auf dem Bildschirm sind wegen der Zeichengröße bzw. Zeichenart schwer zu erkennen.“	70
Abb. 4.8:	Beurteilung der Wahrnehmung von Informationen auf dem Bildschirm des Bedienfeldes unterschiedlicher Hersteller	70
Abb. 4.9:	Ergonomische Beurteilung von Eingabegeräten auf den Bedienfeldern	71
Abb. 4.10:	Ergonomische Beurteilung der Gestaltung der Eingabemittel bei drei unterschiedlichen Bedienfeldern	72
Abb. 4.11:	Grad der Zustimmung zu der Aussage „Die Stellteile sind in Bezug auf deren Ausführung (Breite, Länge oder Durchmesser) angenehm zu handhaben.“	72
Abb. 4.12:	Unklare Anordnung der Stellteile auf dem Bedienfeld bezüglich der Erfahrung im Umgang mit CNC-Maschinen.....	73
Abb. 4.13:	Unklare Anordnung der Stellteilen und Erkennbarkeit von Symbolen auf dem Bedienfeld – Betrachtung verschiedener Altersgruppen	74
Abb. 4.14:	Grad der Zustimmung zu der Aussage „Die Symbole auf dem Bedienfeld sind wegen der Zeichengröße bzw. Zeichenart schwer zu erkennen.“	75
Abb. 4.15:	Verschiedene Anordnungen von Maschinensteuerständen	75
Abb. 4.16:	Beobachtung des Fertigungsprozesses vom Steuerstand aus	76
Abb. 4.17:	Beurteilung der Beobachtung des Fertigungsprozesses sowie der Gestaltung bezüglich des Greifraumes nach Angemessenheit der Höhe des Steuerstandes	77
Abb. 4.18:	Beurteilung der Körperhaltung und der körperlichen Belastung nach Angemessenheit der Höhe des Steuerstandes	80
Abb. 4.19:	Ermittelte Beschwerden in verschiedenen Körperbereichen abhängig vom Steuerstandaufbau	81
Abb. 4.20:	Beschwerden des Muskel-Skelett-Systems der befragten Personen während der Arbeit an einer CNC-Maschine.	82

Abb. 4.21: Untersuchte Steuerstände H1, H2 und H3 (v. l. n. r.)	86
Abb. 4.22: Vergleich der mittleren Höhe wichtiger Bedienelemente auf dem Bedienfeld mit der Augenhöhe der Probanden	87
Abb. 4.23: Charakteristisches Blickverhalten der Personen während der Durchführung von Arbeitsaufgaben an den Steuerungen H1 mit der Programmierung durch Eingabemasken	88
Abb. 4.24: Charakteristisches Blickverhalten der Personen während der Durchführung von Arbeitsaufgaben an den Steuerungen H2 mit der Programmierung durch herstellerspezifische Funktionen	88
Abb. 4.25: Charakteristisches Blickverhalten der Personen während der Durchführung von Arbeitsaufgaben an den Steuerungen H3 mit der DIN/ISO-Programmierung	89
Abb. 4.26: Charakteristisches Blickverhalten der Personen während dem Setzen des Nullpunktes an den Steuerungen H1	89
Abb. 4.27: Programmierprozess an einem Bedienfeld der Steuerung H1 eines Probanden mit einer Körpergröße von 197 cm	90
Abb. 4.28: Programmierprozess an einem Bedienfeld der Steuerung H1 eines Probanden mit einer Körpergröße von 165 cm	91
Abb. 4.29: Maximaler vertikaler Sehbereich einer Person mit größter und kleinster Körpergröße bei der Ansicht des Bildschirms und der alphanumerischen Tastatur der CNC-Steuerungen	91
Abb. 4.30: Bedienung einzelner Elemente mit dem Daumen sowie beidhändige Bedienung	92
Abb. 4.31: Häufig gesuchte Tasten während der Durchführung von Arbeitsaufgaben auf dem Bedienfeld der Steuerung H1: Jog-Taste, Schrittmaßweite, Achsentasten, Bedienbereichstaste Programm, Menu select (v. l. n. r.)	93
Abb. 4.32: Häufig gesuchte Tasten während der Durchführung von Arbeitsaufgaben auf dem Bedienfeld der Steuerung H2: Programmverwaltung, Programmbearbeitung, Programmtest, Enter, Werkzeugangaben (v. l. n. r.)	94
Abb. 4.33: Häufig gesuchte Tasten während der Durchführung von Arbeitsaufgaben auf dem Bedienfeld der Steuerung H3: Satzende EOB, Input, graphische Darstellung (Graph), Befehlstasten (v. l. n. r.)	95
Abb. 4.34: Vergleich der Bewertung der Steuerung H1 mit den Steuerungen H2 und H3 bezüglich verschiedener visueller und haptischer Faktoren	96
Abb. 4.35: Beurteilung der Gestaltung von Informationen auf den Bedienpanels der Steuerungen von H1, H2 und H3	97
Abb. 4.36: Bildschirme der Steuerungen H1, H2 und H3 im Vergleich (v. l. n. r.)	98
Abb. 4.37: Beurteilung der Gestaltung und Anordnung von Stellteilen auf den Bedienpanels der Steuerungen von H1, H2 und H3 *) diese Aussage, die im Fragebogen (vgl. Anhang 4) positiv formuliert ist, wurde zur Vereinheitlichung der Darstellung hier verneint wiedergegeben.	99
Abb. 4.38: Beurteilung der Gestaltung der Bedienerführung der Steuerungen von H1, H2 und H3 *) diese Aussage, die im Fragebogen (vgl. Anhang 4) positiv formuliert ist, ist zur Vereinheitlichung der Darstellung hier verneint wiedergegeben.	100

Abb. 4.39: Dauer der Arbeitsaufgabenbearbeitung am Steuerstand nach Programmiersystem/Hersteller und Altersgruppen	102
Abb. 4.40: Dauer der Arbeitsaufgabenbearbeitung am Steuerstand nach Programmiersystem/Hersteller und beruflichem Hintergrund.....	103
Abb. 4.41: Beispiele beobachteter Körperhaltungen während der Bedienung von CNC-Werkzeugmaschinen	104
Abb. 4.42: Erschwerte Einsicht in den Fertigungsraum durch Kühlschmierstoffe.....	105
Abb. 4.43: Beispiele von Hand-Arm-Positionen während der Bedienung von CNC-Werkzeugmaschinen	105
Abb. 4.44: Beispiele für in Betrieben vorgefundene Bedienfelder	107
Abb. 4.45: Beispiel einer CNC-Maschine mit Touchscreen-unterstützter Steuerung.....	108
Abb. 4.46: Beispiele ungünstiger Körperhaltungen bei Arbeitstätigkeiten während der Bedienung einer CNC-Maschine	113
Abb. 4.47: Abstützen auf das Bedienfeld während Programmier- und Überwachungstätigkeiten	114
Abb. 4.48: Verteilung männlicher und weiblicher Werte für die Körpergröße	117
Abb. 4.49: Verteilung des Körpergewichtes - männliche und weibliche Personen	118
Abb. 4.50: Mittelwert der Daumendicke der rechten und linken Hand im Vergleich zu den mittleren Einzelwerten der rechten und linken Hand hier: Verlauf über den Altersgruppen.....	119
Abb. 4.51: Mittelwert der Zeigefingerdicke der rechten und linken Hand im Vergleich zu den mittleren Einzelwerten der rechten und linken Hand hier: Verlauf über den Altersgruppen.....	120
Abb. 4.52: Verteilung männlicher und weiblicher Werte für die Werte der Daumendicke (alle Personen im Alter ab 18 Jahre).....	122
Abb. 4.53: Verteilung männlicher und weiblicher Daten für die Werte der Zeigefingerdicke.....	123
Abb. 5.1: Untersuchte Steuerstände H1, H2 und H3 (v. l. n. r.)	128
Abb. 5.2: Grafische Darstellung der Struktur und Inhalte dieser Arbeit	131

9 Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1:	Aufteilung der Arbeitstätigkeiten an CNC-Werkzeugmaschinen	22
Tab. 4.1:	Unterteilung in Altersgruppen	63
Tab. 4.2:	Unterteilung der Daten in Körpergrößengruppen.....	63
Tab. 4.3:	Verteilung der Auszubildenden nach Alter und Erfahrung mit CNC-Werkzeugmaschinen	64
Tab. 4.4:	Häufigkeit von Fehlbedienungen, Auswertung nach Ursachen und Folgen	78
Tab. 4.5:	Anregungen für Veränderungen am Arbeitsplatz aus der Sicht der Befragten	83
Tab. 4.6:	Für die Hauptuntersuchungen definierte Arbeitshypothesen	84
Tab. 4.7:	Unterteilung in die Altersgruppen	85
Tab. 4.8:	Unterteilung nach Erfahrung.....	85
Tab. 4.9:	Anzahl der Personen, die entsprechende Steuerungen bedient haben	86
Tab. 4.10:	Zeichengrößen auf den Bildschirmen der untersuchten Steuerstände.....	90
Tab. 4.11:	Abmessungen von häufig benutzten Bedienelementen	92
Tab. 4.12:	Häufig genannte Veränderungswünsche für das jeweilige Programmiersystem	106
Tab. 4.13:	Verteilung der Arbeitstätigkeiten mit Bedienung der CNC-Maschine	108
Tab. 4.14:	Kennwerte zur zeitlichen Ausprägung von Arbeitstätigkeiten, die die Bedienung der CNC-Maschine beinhalten (Basis: alle betrachteten Arbeitsplätze).....	109
Tab. 4.15:	Kennwerte zum Anteil (bezogen auf die Arbeitszeit) und zur zeitlichen Ausprägung unterschiedlicher Körperhaltungen während der Bedienung einer CNC-Maschine über alle beobachteten Arbeitsplätze	111
Tab. 4.16:	Durchschnittliche zeitliche Ausprägung verschiedener Körperhaltungen während der Bedienung einer CNC-Maschine an einem Arbeitstag	112
Tab. 4.17:	Arbeitsschwere während der Bedientätigkeiten an CNC-Maschinen	112
Tab. 4.18:	Verteilung des untersuchten Kollektivs in Altersgruppen entsprechend DIN 33402-2 (2005)	115
Tab. 4.19:	Verteilung des untersuchten Kollektivs in Altersgruppen entsprechend Greil et al. (2008)	115
Tab. 4.20:	Verteilung des untersuchten Kollektivs nach Geschlecht.....	115
Tab. 4.21:	Verteilung des untersuchten Kollektivs nach Berufsgruppen	116
Tab. 4.22:	Vergleich der in DIN 33402-2 [2005], DIN EN ISO 7250 Teil 2 [2013] sowie in GREIL et al. [2008] genannten Perzentilangaben zur Körpergröße mit den Daten aus dem Loop 3.....	117
Tab. 4.23:	Vergleich der in DIN 33402-2 [2005] und in GREIL et al. [2008] angegebenen Verteilungsdaten zum Körpergewicht mit Daten aus Loop 3	118
Tab. 4.24:	Vergleich der in DIN 33402-2 [2005] und in GREIL et al. [2008] angegebenen Werte zur Daumendicke mit Daten aus Loop 3.....	121
Tab. 4.25:	Vergleich die in DIN 33402-2 [2005] und in GREIL et al. [2008] vorhandenen Zeigefingerdickendaten mit Daten aus dem Loop 3	123

Tab. 4.26: Verteilung der Daumen- und Zeigefingerdicke bei Ausweitung der Altersgruppe - Daten aus Loop 3 im Vergleich zu den Angaben aus DIN 33402-2 [2005].....	124
Tab. 4.27: Vergleich der Kennwerte zur Daumen- und Zeigefingerdicke für Probanden aus Produktionsberufen und anderen Berufen	125
Tab. 4.28: Vergleich der Stellteilgrößen der untersuchten Steuerungen.....	125
Tab. 11.1: Verteilung der Werte zur Körpergröße männlicher und weiblicher Probanden nach Altersgruppen – Daten aus dem Loop 3 im Vergleich zu den Angaben aus DIN 33402-2 [2005], Tab. 3 (Werte in Klammern)	168
Tab. 11.2: Verteilung der Werte zur Körpergröße männlicher und weiblicher Probanden nach Altersgruppen – Daten aus Loop 3 im Vergleich zu Daten aus GREIL et al. [2008], Tab. 4.49 (Werte in Klammern)	168
Tab. 11.3: Verteilung der Werte zum Körpergewicht männlicher und weiblicher Probanden nach Altersgruppen – Daten aus Loop 3 im Vergleich zu den Angaben aus DIN 33402-2 [2005], Tab. 2 (Werte in Klammern).....	169
Tab. 11.5: Verteilung der Werte zur Daumendicke männlicher und weiblicher Probanden nach Altersgruppen – Daten aus Loop 3 im Vergleich zu Angaben aus DIN 33402-2 [2005], Tab. 53 (Werte in Klammern).....	170
Tab. 11.6: Verteilung der Werte zur Daumendicke männlicher und weiblicher Probanden nach Altersgruppen – Daten aus Loop 3 im Vergleich zu Angaben aus GREIL et al. [2008], Tab. 4.104 (Werte in Klammern).....	170
Tab. 11.7: Verteilung der Werte zur Zeigefingerdicke männlicher und weiblicher Probanden nach Altersgruppen – Daten aus Loop 3 im Vergleich zu Angaben aus DIN 33402 [2005], Tab. 45 (Werte in Klammern)	171
Tab. 11.8: Verteilung der Werte zur Zeigefingerdicke männlicher und weiblicher Probanden nach Altersgruppen – Daten aus Loop 3 im Vergleich zu Angaben aus GREIL et al. [2008], Tab. 4.105 (Werte in Klammern).....	171
Tab. 11.9: Verteilung der Werte zur Daumendicke männlicher Probanden - Vergleich zwischen Beschäftigten aus dem Produktionsbereich und anderen Berufen – Daten aus Loop 3.....	172
Tab. 11.10: Verteilung der Werte zur Zeigefingerdicke männlicher Probanden - Vergleich zwischen Beschäftigten aus dem Produktionsbereich und anderen Berufen – Daten aus Loop 3.....	172

10 Literaturverzeichnis

10.1 Schrifttum

1. Berufsbildungsbericht (2013): Berufsbildungsbericht des Bundesministeriums für Bildung und Forschung. Online verfügbar unter www.bmbf.de/pub/bbb_2013.pdf datenreport.bibb.de/media2012/BIBB_Datenreport_2012.pdf. Zuletzt geprüft am 10.06.2013
2. Bleicher, S.; Däubler-Gmelin, H.; Kubicek, H. (1984): Chip, Chip, Hurra? Die Bedrohung durch die „Dritte technische Revolution“. VSA Verlag, 1984, Hamburg.
3. Böhle, F.; Milkau, B. (1987): Sinnliche Erfahrung und Gefühl. Entwicklungen und Probleme der Arbeitsgestaltung beim Einsatz neuer Technologien im Maschinenbau. Arbeitspapier 13 des Sonderforschungsbereiches 333 der Universität München "Entwicklungsperspektiven von Arbeit", München. Online verfügbar unter <http://www.isf-muenchen.de/pdf/isf-archiv/1987-boehle-milkau-sinnliche.pdf>. Zuletzt geprüft am 15.08.2015.
4. Böhle, F.; Milkau, B. (1988): Vom Handrad zum Bildschirm. Eine Untersuchung zur sinnlichen Erfahrung im Arbeitsprozess. Frankfurt: Campus.
5. Böhle, F.; Rose, H. (1993): Erfahrung als Leistungsfaktor der flexiblen Produktion. CeA: Erfahrungsgelentete Arbeit mit CNC-Technik. In: «Technische Rundschau» Das Schweizer Industriemagazin (Hg.): CNC-Steuerungen. Redaktion von Dr. H.-H. Herzog. Bern: Hallwag AG, S. 6–9.
6. Böge, A. (Hg.) (2009): Handbuch Maschinenbau. Grundlagen und Anwendungen der Maschinenbau-Technik ; mit 407 Tabellen. 19., überarbeitete und erweiterte Auflage. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden.
7. Brecher, Ch.; Krüger, J.; Uhlmann, E.; Verl, A. (Hg.) (2011): Sichere Mensch-Maschine-Interaktion. Düsseldorf: VDI (Reihe 2 Nr. 681).
8. Brokmann, W. (Hg.) (1989): Arbeitsgestaltung in Produktion und Verwaltung. Taschenbuch für den Praktiker. Köln: Wirtschaftsverl. Bachem.
9. Bullinger, H.-J.; Nespeta, H. (1989): Neue Formen der Arbeitsorganisation in der Produktion. In: Brokmann (Hg.): Arbeitsgestaltung in Produktion und Verwaltung. Taschenbuch für den Praktiker. Köln: Wirtschaftsverl. Bachem.
10. Datenreport (2012): Datenreport zum Berufsbildungsbericht 2012. Informationen und Analysen zur Entwicklung der beruflichen Bildung. Bundesinstitut für Berufsbildung. Online verfügbar unter <http://datenreport.bibb.de/html/dr2012.html>. Zuletzt geprüft am 15.08.2015.
11. Drewes, H. (2010): Eye Gaze Tracking for Human Computer Interaction. Dissertation. Ludwig-Maximilians-Universität, München. Online verfügbar unter http://edoc.ub.uni-muenchen.de/11591/1/Drewes_Heiko.pdf. Zuletzt geprüft am 15.08.2015.
12. Failmezger, R.; Urban, G.; Drexler, E. (1989): Analyse von Belastungs- und Beanspruchungsprozessen an CNC-Maschinen. Vorschläge zur Gestaltung. Bremerhaven: Wirtschaftsverl. NW Verl. für Neue Wiss. (Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutzforschung, 559).

13. Fröhlich, D.; Hild, P. (1991): Arbeiten mit neuer Technik. Weiterbildungserfolg und Arbeitsbedingungen am Beispiel der CNC-Technik. Frankfurt [am Main], New York: Campus Verlag.
14. Gebhardt, Hj.; Mühlemeyer, Ch. (2012): Anforderungen an einen gegliederten Prüffinger nach DIN EN 60529 auf der Grundlage aktueller anthropometrischer Daten. Schriftenreihe der Kommission Arbeitsschutz und Normung, KAN-Bericht GA 49, Sankt Augustin / KAN Eigenverlag, Sankt Augustin, 2012. Online verfügbar unter http://www.kan.de/fileadmin/Redaktion/Dokumente/KAN-Studie/de/2012_prueffinger.pdf. Zuletzt geprüft am 15.08.2015.
15. Grandjean, E. (1979): Physiologische Arbeitsgestaltung, Leitfaden der Ergonomie, 3. erweiterte Auflage, Ott Verlag Thun, Schweiz.
16. Greil, H.; Voigt A. (2008): BAUA-Forschungsprojekt F 1299: Optimierung der ergonomischen Eigenschaften von Produkten für ältere Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer – Ergonomie und Anthropometrie.
17. Grießer, K. (1995): Einsatz der Blickregistrierung bei der Analyse rechnerunterstützter Steuerungsaufgaben. Universität Karlsruhe.
18. Heeg, F. J. (1991): Moderne Arbeitsorganisation. Grundlagen der organisatorischen Gestaltung von Arbeitssystemen bei Einsatz neuer Technologien. 2., überarb. Aufl. München: Hanser.
19. Hofmann, Th; Holzkämper, P. (2008): Gestaltung jenseits der Standards? Interfaceentwicklung im industriellen Umfeld. Perspektiven und Grenzen originärer Mensch-Maschine-Schnittstellen. In: Ueware 2008. Verfahrens- und Produktionstechnik, Engineering, Informationspräsentation und Interaktionskonzepte ; 15. und 16. Oktober 2008, Kongresshaus Baden-Baden. Düsseldorf: VDI-Verl. (VDI-Berichte, 2041), S. 155–167.
20. Hohwieler, E.; Feitscher, R.; Uhlmann, E. (2011): Mobile Kamera für das Messen und Prüfen im Arbeitsraum von Werkzeugmaschinen. In: Brecher et al. (Hg.): Sichere Mensch-Maschine-Interaktion. Düsseldorf: VDI (Reihe 2 Nr. 681).
21. Johannsen, G. (1993): Mensch-Maschine-Systeme, Springer-Verlag, Berlin.
22. Kief, H. B.; Roschiwal, H. A. (2009): CNC-Handbuch 2009/2010. CNC, DNC, CAD, CAM, FFS, SPS, RPD, LAN, CNC-Maschinen, CNC-Roboter, Antriebe, Simulation, Fachwortverzeichnis. München: Hanser.
23. Kiepsch, H.-J.; Decker, Ch; Harlfinger-Woitzik, G. (2007): BGI 523. Mensch und Arbeitsplatz. Online verfügbar unter <http://bibliothek.arbeitssicherheit.de/content/bgvr-ceb72d4a64854a90b7c9759443f9c282/resource/content-cache-pdf>, zuletzt geprüft am 27.04.2011.
24. Kirchner, J.-H.; Baum, E. (1990): Ergonomie für Konstrukteure und Arbeitsgestalter. München, Verlag Hanser.
25. Klußmann, A.; Gebhardt, Hj.; Topel, M.; Müller-Arnecke H. (2009): Optimierung der ergonomischen Eigenschaften von Produkten – Gestaltung und Design Forschungsbericht F 1300, Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Hrsg.), Dortmund/Berlin/Dresden.
26. Kockrow, R.; Hoppe, A. (2012): Blickfeldanalyse an Operatorarbeitsplätzen – Ergebnisse einer Eye-Tracking-Studie. In: Schütte, M. (2012): Gestaltung nachhaltiger Arbeitssysteme. Wege zur gesunden, effizienten und sicheren Arbeit.

27. Koether, R.; Kurz, B.; Seidel, U.A.; Weber, F. (2001): Betriebsstättenplanung und Ergonomie. Planung von Arbeitssystemen. München, Wien: Hanser.
28. Koller, F.; Neubauer, S. (2008): Technische Innovation erfahrbar machen. Wie viel Design ist bei einer Maschinenbedienung erlaubt? In: Useware 2008. Verfahrens- und Produktionstechnik, Engineering, Informationspräsentation und Interaktionskonzepte ; 15. und 16. Oktober 2008, Kongresshaus Baden-Baden. Düsseldorf: VDI-Verl. S. 183–191.
29. Lange, Ch; Wohlfarter, M.; Bubb, H.; Bengler, K. (2010): Synchrone und normkonforme Messdatenerfassung und -auswertung mit der Dikablis & D-Lab Software- und Hardwareumgebung zur Blick- und Verhaltensforschung. In: Schütte (Hg.): Neue Arbeits- und Lebenswelten gestalten.
30. Langhoff, Th. (2009): Den demographischen Wandel im Unternehmen erfolgreich gestalten. Eine Zwischenbilanz aus arbeitswissenschaftlicher Sicht. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (Springer-11775 /Dig. Serial)].
31. Laurig, W. (1990): Grundzüge der Ergonomie. Erkenntnissen und Prinzipien, 3. vollständig überarbeitete Auflage, Beuth Verlag GmbH, Berlin, Köln.
32. Lausterer, S.; Bauer, K.; Beu, A. (2003): Rohrbiegetechnik in neuer Dimension. In: Machate (Hg.): User interface tuning. Benutzungsschnittstellen menschlich gestalten. Frankfurt am Main: Software- und Support-Verl.
33. Lieberwirth, F. (1988): Technologie von CNC-Werkzeugmaschinen. Praktischer Einstieg in eine neue Technik. Düsseldorf: Cornelsen Girardet.
34. Link, D.; Tietze, H.; Schmidt, L.; Sievert, A.; Gorges, W.; Leyk, D. (2008): Berührungslose Augen- und Blickbewegungsmessung. In: Schmidt et al. (Hg.): Ergonomie und Mensch-Maschine-Systeme. Berlin: Springer.
35. Löhr, R.W. (1976): Ergonomie: Grundlagen der Wechselbeziehungen zwischen Mensch, Technik und Umwelt, Vogel-Verlag, Würzburg.
36. Machate, J. (Hg.) (2003): User interface tuning. Benutzungsschnittstellen menschlich gestalten. Frankfurt am Main: Software- und Support-Verl. Marquardt, S. (1997): Handbuch der Ergonomie, Schuch-Verlag, Weiden.
37. Martin, H.; Rose, H. (1992): CNC-Entwicklung und -Anwendung auf der Basis erfahrungsgeliteter Arbeit. Bremerhaven: Wirtschaftsverl. NW Verl. für neue Wissenschaft (Forschungsberichtsreihe Arbeit und Technik, Fb 658).
38. Mewes, D.; Trapp, R.-P; Warlich, H.-J (2001): Gestaltung und Dimensionierung von Sichtscheiben an Werkzeugmaschinen. In: Maschinensicherheit 2001, S. 128–133. Online verfügbar unter <http://www.stplusdigital.de/DIEBG.03.2001.128>. Zuletzt geprüft 15.08.2015
39. Müller, B. H. (1997): Ergonomie - Bestandteil der Sicherheitswissenschaft. 3. Aufl. Berlin; Wien; Zürich: Beuth.
40. Neumann, K.-H. (2002): Qualifizierung beim Einsatz von NC- und CNC-Technologien. Dortmund: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.
41. Overink, J. (2011): Eyetracking in der Produktoptimierung. Eine Analyse der Usability zur gezielten Verbesserung der User Interface des Rücknahme- und Verkaufsautomaten EcoCash. Bachelor Thesis. Hochschule Offenburg.
42. REFA - Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e.V. (1991): Methodenlehre der Betriebsorganisation. Arbeitsgestaltung in der Produktion. 1. Aufl. München: Hanser.

43. Rempp, H. (1980): Einführung flexibler Fertigungssysteme und ihre Auswirkungen auf Arbeitsplatzstrukturen. Manuskript für die Fachtagung "Neue Fertigungstechnologien und Qualität der Arbeitsplätze" in der KfK am 10/11.06.1980.
44. Rose, H. (1991): Der Wert der Erfahrung für qualifizierte Facharbeit mit CNC-Maschinen. In: Handbuch der humanen CIM-Gestaltung, Berlin, IPK Berlin.
45. Rose, H. (1995): Erfahrungsgeleitete Arbeit und Kooperation als Leistungspotentiale gruppenorientierter Produktionsstrukturen. In: Zeitschrift Arbeit, 2/1995, S. 170–184. Online verfügbar unter <http://www.zeitschriftarbeit.de/docs/2-1995/rose.pdf>, zuletzt geprüft am 08.01.2013.
46. Rose, H.; Schulze, H. (Hg.) (1999): Innovation durch Kooperation. Nutzerorientiertes Konzept für Interaktionssysteme in der Serienfertigung. Frankfurt/Main: Campus-Verl.
47. Rose, H.; Schulze, H.; Moldaschl, M.; Selb, K.; Siegel, Ch (1999): Funktionsbedarf nutzergerechter Interaktionssysteme. Befragungsergebnisse aus dem Verbundprojekt HÜMNOS. In: Rose und Schulze (Hg.): Innovation durch Kooperation. Nutzerorientiertes Konzept für Interaktionssysteme in der Serienfertigung. Frankfurt/Main: Campus-Verlag, S. 41–81.
48. Röse, K. (2000): ErgoCheck – ein Tool zur Unterstützung der nutzergerechten Gestaltung von Bediensystemen bei Maschinen, als neuer Ansatz zur Arbeit mit Richtlinien. MMI-Interaktiv, Nr. 4, 11/2000. Berlin. Online verfügbar unter www.mmi-interaktiv.de/uploads/media/roese.pdf, zuletzt geprüft am 15.08.2015.
49. Saup, W. (1993): Alter und Umwelt. Eine Einführung in die ökologische Gerontologie. Stuttgart: W. Kohlhammer.
50. Schmidt, L. (2008): Blickbewegungsanalyse zur software-ergonomischen Evaluation. Methode und Anwenderbeispiel. In: Ueware 2008. Verfahrens- und Produktionstechnik, Engineering, Informationspräsentation und Interaktionskonzepte ; 15. und 16. Oktober 2008, Kongresshaus Baden-Baden. Düsseldorf: VDI-Verl.
51. Schmidt, L.; Schlick, Ch.; Grosche, J. (Hg.) (2008): Ergonomie und Mensch-Maschine-Systeme. Berlin: Springer.
52. Schmidtke, H. (1989): Handbuch der Ergonomie. Mit ergonomischen Konstruktionsrichtlinien. 2., überarb. und erw. München: Hanser.
53. Schmidtke, H.; Rühmann, H. (1978): Ergonomische Gestaltung von Steuerständen, Wirtschaftsverl. NW, Bremerhaven.
54. Schreiber, P.; Kuhn, K. (1995): Informationstechnologie in der Fertigungstechnik. Aspekte des Arbeits- und Gesundheitsschutzes. Bremerhaven: Wirtschaftsverl. NW, Verl. für Neue Wiss.
55. Schulze, H.; Glockner, Ch (1999): Handlungsbaustein Programmieren im Interaktionssystem - Programmerstellung und -korrektur mit featureasierten Bearbeitungsobjekten. In: Rose und Schulze (Hg.): Innovation durch Kooperation. Nutzerorientiertes Konzept für Interaktionssysteme in der Serienfertigung. Frankfurt/Main: Campus-Verlag., S. 157–170.
56. Schulze, H.; Funk, U.; Hildebrandt, A.; Wahl, M. (1999): Anforderungen an ein handlungsorientiertes Interaktionssystem. Ergebnisse der Tiefenuntersuchung bei Daimler-Benz. In: Rose und Schulze (Hg.): Innovation durch Kooperation. Nutzerorientiertes Konzept für Interaktionssysteme in der Serienfertigung. Frankfurt/Main: Campus-Verl., S. 83–112.

57. Schütt, P. (2010): Fachkräfte finden, binden und entwickeln. Ein zukunftssträchtiges beschäftigungspolitisches Konzept für den Maschinenbau auch unter Bedingungen der Krise? In: ARBEIT. Schwerpunktheft Stabiler Arbeitsmarkt trotz Krise?, Heft 2+3/2010, S. 178-194.
58. Schütte, M. (Hg.) (2010): Neue Arbeits- und Lebenswelten gestalten. Vom 24. - 26. März 2010. Als Ms. gedr. Dortmund: GfA-Press.
59. Schütte, M. (Hg.) (2012): Gestaltung nachhaltiger Arbeitssysteme. Wege zur gesunden, effizienten und sicheren Arbeit. 58. GfA-Frühjahrskongress vom 22. bis 24. Februar 2012. Dortmund: GfA-Press.
60. Style Guide Werkzeugmaschinen. Ein Handbuch zur Gestaltung von Benutzungsoberflächen für Werkzeugmaschinen; OSACA/HÜMNOS (1997). Stuttgart: Fraunhofer-IRB-Verl.
61. Syska, A. (2006): Produktionsmanagement. Das A - Z wichtiger Methoden und Konzepte für die Produktion von heute. 1. Aufl. Wiesbaden: Gabler.
62. Unfallkasse Berlin (Hg.) (2006): SiBe-Report. Praxis für Sicherheitsbeauftragte, zuletzt geprüft am 02.11.2010.
63. Useware (2008): Verfahrens- und Produktionstechnik, Engineering, Informationspräsentation und Interaktionskonzepte; 15. und 16. Oktober 2008, Kongresshaus Baden-Baden. Düsseldorf: VDI-Verl. (VDI-Berichte, 2041, CD-ROM).
64. VDI (1999): Berichte 1498, 2. Fachtagung, Menschengerechte Bedienung Technischer Geräte, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf.
65. Vogelsang, S. (1999): Der Einfluss der Kultur auf die Produktgestaltung. Köln: Förderges. Produkt-Marketing.
66. Voigt, E. (1986): Tätigkeitsstrukturen an Werkzeugmaschinen verschiedener Automatisierungsstufen. Bremerhaven: Wirtschaftsverl. NW, Verl. für Neue Wiss.
67. Vollmer, Th. (1995): Belastungen und Beanspruchungen an Arbeitsplätzen mit CNC-Werkzeugmaschinen. Ziele Methoden und Ergebnisse einer Falluntersuchung. Kassel: Verl. Inst. für Arbeitswiss.
68. Wahl, M.; Zühlke, D.; Laible, U. (1999): Prototyp für ein einheitliches Interaktionssystem in der Serienfertigung bei Daimler-Benz. In: Rose und Schulze (Hg.): Innovation durch Kooperation. Nutzerorientiertes Konzept für Interaktionssysteme in der Serienfertigung. Frankfurt/Main: Campus-Verlag, S. 135–156.
69. Weck, M.; Brecher, Ch. (2006): Werkzeugmaschinen 4. Automatisierung von Maschinen und Anlagen. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg (VDI-Buch).
70. Wetzels, M. (2012): Datenermittlung und Auswertungsstrategien am Beispiel ausgewählter anthropometrischer Maße. Bachelor Thesis. Bergische Universität Wuppertal.
71. Zschoge, S. (1994): Möglichkeiten der Anwendung moderner Formen der Arbeitsorganisation bei der Arbeit mit CNC-Maschinen und deren Auswirkungen auf Mensch und Technik, Dresden.
72. Zühlke, D. (2004): Useware engineering für technische Systeme, Springer Verlag, Berlin.
73. Zühlke, D., Romberg, M., Meil, P. (1998): Anforderungen außereuropäischer Märkte an die Gestaltung der Maschinenbedienung (INTOPS). VDI Reihe 2 Nr. 485. VDI Verlag GmbH, Düsseldorf.

10.2 Technische Normen

74. DIN EN 614-1 (2006): Sicherheit von Maschinen. Ergonomische Gestaltungsgrundsätze – Teil 1: Begriffe und allgemeine Leitsätze.
75. DIN EN 614-2 (2008): Sicherheit von Maschinen. Ergonomische Gestaltungsgrundsätze – Teil 2: Wechselwirkungen zwischen der Gestaltung von Maschinen und den Arbeitsaufgaben.
76. DIN EN 894-2 (2009): Sicherheit von Maschinen. Ergonomische Anforderungen an die Gestaltung von Anzeigen und Stellteilen – Teil 2: Anzeigen.
77. DIN EN 894-3 (2010): Sicherheit von Maschinen. Ergonomische Anforderungen an die Gestaltung von Anzeigen und Stellteilen – Teil 3: Stellteile.
78. DIN EN 894-4 (2010): Sicherheit von Maschinen. Ergonomische Anforderungen an die Gestaltung von Anzeigen und Stellteilen – Teil 4: Lage und Anordnung von Anzeigen und Stellteilen
79. DIN EN 1005-3 (2009): Sicherheit von Maschinen – Menschliche körperliche Leistung – Teil 3: Empfohlene Kraftgrenzen bei Maschinenbetätigung.
80. DIN EN 1005-4 (2009): Sicherheit von Maschinen – Menschliche körperliche Leistung – Teil 4: Bewertung von Körperhaltungen und Bewegungen bei der Arbeit an Maschinen.
81. DIN EN ISO 6385 (2004): Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen.
82. DIN EN ISO 9241-110 (2008): Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 110: Grundsätze der Dialoggestaltung.
83. DIN EN ISO 14738 (2009): Sicherheit von Maschinen. Anthropometrische Anforderungen an die Gestaltung von Maschinenarbeitsplätzen.
84. DIN EN ISO 15537 (2005): Grundsätze für die Auswahl und den Einsatz von Prüfpersonen zur Prüfung anthropometrischer Aspekte von Industrieerzeugnissen und deren Gestaltung.
85. DIN EN ISO 20685 (2010): 3D-Scanverfahren für international kompatible anthropometrische Datenbanken.
86. DIN 33402-1 (2008): Ergonomie. Körpermaße des Menschen – Teil 1: Begriffe, Messverfahren.
87. DIN 33402-2 (2005), Ergonomie. Körpermaße des Menschen – Teil 2: Werte.
88. DIN 66025-1:1983, Programmaufbau für numerisch gesteuerte Arbeitsmaschinen – Teil 1: Allgemeines.
89. DIN 66025-2:1988, Programmaufbau für numerisch gesteuerte Arbeitsmaschinen – Teil 2: Wegbedingung und Zusatzfunktionen.
90. DIN EN ISO 7250-1 (2010): Wesentliche Maße des menschlichen Körpers für die technische Gestaltung – Teil 1: Körpermaßdefinitionen und -messpunkte.
91. DIN CEN ISO/TR 7250-2 (2013): Wesentliche Maße des menschlichen Körpers für die technische Gestaltung – Teil 2: Anthropometrische Datenbanken einzelner Bevölkerungen von ISO-Mitgliedsländern (ISO/TR 7250-2:2010 + Amd 1:2013); Deutsche Fassung CEN ISO/TR 7250-2:2011 + A1:2013.

10.3 Technische Richtlinien

92. VDI/VDE 3850-1 (2014): Gebrauchstaugliche Gestaltung von Benutzungsschnittstellen für technische Anlagen – Blatt 1: Konzepte, Prinzipien und grundsätzliche Empfehlungen
93. VDI/VDE 3850-2 (2002): Nutzergerechte Gestaltung von Bediensystemen für Maschinen – Blatt 2: Interaktionsgeräte für Bildschirme.
94. VDI/VDE 3850-3 (2015): Gebrauchstaugliche Gestaltung von Benutzungsschnittstellen für technische Anlagen - Merkmale, Gestaltung und Einsatzmöglichkeiten von Benutzungsschnittstellen mit Touchscreens.

10.4 Berufsgenossenschaftliche Informationen

95. BGI/GUV-I 5048-1 (2010): Ergonomische Maschinengestaltung von Werkzeugmaschinen der Metallbearbeitung – Checkliste und Auswertungsbogen, DGUV, Berlin
96. BGI/GUV-I 5048-2 (2010): Ergonomische Maschinengestaltung von Werkzeugmaschinen der Metallbearbeitung – Informationen zur Checkliste, DGUV, Berlin

10.5 Regelwerke

97. Maschinenrichtlinie 2006/42/EG (2006) des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG.
98. Arbeitsschutzgesetz (2013): Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit vom 7. August 1996 (BGBl. I S. 1246), das zuletzt durch Artikel 8 des Gesetzes vom 19. Oktober 2013 (BGBl. I S. 3836) geändert worden ist
99. Maschinenverordnung (2011): 9. Verordnung zum Produktsicherheitsgesetz (9. ProdSV) vom 12. Mai 1993 (BGBl. I S. 704), die zuletzt durch Artikel 19 des Gesetzes vom 8. November 2011 (BGBl. I S. 2178) geändert worden ist
100. Betriebssicherheitsverordnung - BetrSichV (2015): Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln vom 3. Februar 2015 (BGBl. I S. 49), die durch Artikel 1 der Verordnung vom 13. Juli 2015 (BGBl. I S. 1187) geändert worden ist
101. Arbeitsstättenverordnung – ArbStättV (2010): Verordnung über Arbeitsstätten vom 12. August 2004 (BGBl. I S. 2179), die zuletzt durch Artikel 4 der Verordnung vom 19. Juli 2010 (BGBl. I S. 960) geändert worden ist

11 Anhänge

Anhang 1: Fragebogen für die Durchführung der Pilotstudie

Sehr geehrte Damen und Herren,

das **Institut für Arbeitsmedizin, Sicherheitstechnik und Ergonomie e.V. (ASER) an der Bergischen Universität Wuppertal** führt seit 1976 Forschungsprojekte zu den Themen im Bereich von Produktentwicklung, Geräte- und Produktsicherheit sowie Ergonomie durch.

Aktuell wurde eine wissenschaftliche Studie von **Frau Dipl.-Ing. Inna Levchuk** und **Herrn Dipl.-Ing. André Klußmann** im Bereich **ergonomische Anforderungen an CNC-Maschinensteuerstände** begonnen, deren Ergebnisse Maschinenherstellern und -einkäufern bei der menschengerechten Gestaltung und Einrichtung von Arbeitssystemen wirksam unterstützen soll.

Hierbei soll die Expertise sowohl von **erfahrenen Fachleuten** als auch von **qualifizierten Berufsanfängern und Auszubildenden** bei der Benutzung von CNC-Maschinensteuerständen einbezogen werden. Dies erfolgt durch **Expertengespräche** und durch den Einsatz von **Fragebögen**, wie einer Ihnen hier vorliegt. Diese Befragung soll helfen mögliche Probleme und Schwierigkeiten bei der Bedienung von CNC-Maschinensteuerständen festzustellen und natürlich auch Lösungsbeispiele zu ermitteln.

Wir möchten Sie bitten, diesen Fragebogen auszufüllen. Die Befragung wird in anonymisierter Form durchgeführt. Die Bearbeitung des Fragebogens wird etwa 10 bis 15 min. dauern.

Herzlichen Dank im Voraus für Ihre Teilnahme und mit freundlichen Grüßen



Dipl.-Ing. I. Levchuk



Dipl.-Ing. A. Klußmann



Dipl.-Ing. A. Schäfer



Dr.-Ing. Hj. Gebhardt



Datum: _____

Teil A: Allgemeine Fragen zu Ihren Erfahrungen mit CNC-Steuerungen

A 1 Welche der folgenden Hersteller von CNC-Steuerungen kennen Sie?
(Mehrfachantworten sind möglich.)

- SIEMENS
 selca
 FAGOR 
 num 
 Andere und zwar: _____
 HEIDENHAIN
 Mazak
 
 DELTA TAU  Data Systems, Inc. _____
 FANUC
 HURCO
 FIDIA 
 SCHLEICHER 

A 2 Mit welchen CNC-Steuerungen haben Sie bisher gearbeitet bzw. mit welcher arbeiten Sie aktuell? (Mehrfachantworten sind möglich.)

CNC-Steuerung			Andere bitte benennen:	Damit habe ich bereits gearbeitet: (Mehrfachantworten sind möglich.)	Damit arbeite ich zur Zeit: (Bitte hier die CNC-Steuerung ankreuzen, die Sie aktuell am häufigsten benutzen.)
Hersteller	Typ				
SIEMENS	<input type="checkbox"/> Sinumerik original Siemens Interface	<input type="checkbox"/> Sinumerik Hersteller Interface	_____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
HEIDENHAIN	<input type="checkbox"/> TNC 124	<input type="checkbox"/> (i)TNC 320/530/430	_____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
FANUC	<input type="checkbox"/> Serie 30i/31i/32i	<input type="checkbox"/> Serie 16i/18i/21i	_____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
FAGOR 	<input type="checkbox"/> CNC 8070	<input type="checkbox"/> CNC 8055(i)	_____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SCHLEICHER 	<input type="checkbox"/> ProNumeric	<input type="checkbox"/> COP (H,E)	_____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Andere:	<input type="checkbox"/> _____		_____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

A 2 Wie viele unterschiedliche Steuerstände werden von Ihnen regelmäßig bedient?

Durchschnittlich ca. _____ Steuerstände

Teil B: Die folgenden Fragen beziehen sich auf die CNC-Steuerung mit der Sie zur Zeit hauptsächlich arbeiten.

B 1 Die Bedienung der Steuerung Ihrer CNC-Maschine ...

... war für Sie zu Beginn:

₀
 ₁
 ₂
 ₃
 ₄
 ₅
 sehr leicht ←—————→ sehr schwer

... ist für Sie zur Zeit:

₀
 ₁
 ₂
 ₃
 ₄
 ₅
 sehr leicht ←————→ sehr schwer

B 2 Hatten bzw. haben Sie folgende Schwierigkeiten in der Bedienung eines Steuerstandes?

Mögliche Schwierigkeiten: (Mehrfachantworten sind möglich.)	zu Beginn	zur Zeit	keine Schwierigkeiten
Schlechte Lesbarkeit von Symbolen und Zeichen auf dem Bildschirm.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Schlechte Erkennbarkeit von <u>Symbolen und Zeichen</u> auf dem Bedienfeld.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Schlechte Erkennbarkeit von <u>Stellteilen</u> (Schalter, Tasten) auf dem Bedienfeld.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Unklare Anordnung der <u>Stellteile</u> auf dem Bedienfeld.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Unverständlichkeit der Bedienungsführung.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sonstiges: _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

B 3 Die Symbole und Zeichen auf dem Bildschirm und dem Bedienfeld zu erkennen fällt mir ...

<input type="checkbox"/> ₀	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₂	<input type="checkbox"/> ₃	<input type="checkbox"/> ₄	<input type="checkbox"/> ₅	
←			→			
sehr leicht				sehr schwer		

B 4 Die Bedeutung der Stellteile (Schalter, Tasten) des Bedienfeldes zu verstehen fällt mir ...

<input type="checkbox"/> ₀	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₂	<input type="checkbox"/> ₃	<input type="checkbox"/> ₄	<input type="checkbox"/> ₅	
←			→			
sehr leicht				sehr schwer		

B 5 Die Software bei der Benutzung der CNC-Steuerung zu verstehen fällt mir ...

<input type="checkbox"/> ₀	<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₂	<input type="checkbox"/> ₃	<input type="checkbox"/> ₄	<input type="checkbox"/> ₅	
←			→			
sehr leicht				sehr schwer		

B 6 Bitte nehmen Sie zu folgenden Aussagen Stellung:






	stimme voll und ganz zu	stimme im Großen und Ganzen zu	teils/teils	stimme weniger zu	stimme überhaupt nicht zu	trifft nicht zu / nicht vorhanden
Die Stellteile sind <u>schwer</u> zu drücken bzw. zu drehen oder umzuschalten, so dass Fehlbedienungen auftreten (können).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Stellteile sind <u>zu einfach</u> zu drücken bzw. zu drehen oder umzuschalten, so dass Fehlbedienungen auftreten (können).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Stellteile sind so angeordnet, dass man sie leicht verwechseln kann.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Stellteile sind im Bezug auf ihre Breite, Länge oder Durchmesser angenehm zu handhaben.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Symbole auf dem <u>Bedienfeld</u> sind wegen der <u>Zeichen</u> _{größe} bzw. <u>Zeichenart</u> schwer zu erkennen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Zeichen auf dem <u>Bildschirm</u> sind wegen der Reflexionen schwierig zu lesen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Schriften auf dem <u>Bildschirm</u> sind wegen der <u>Zeichen</u> _{größe} bzw. <u>Zeichenart</u> schwer zu erkennen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Der Touchscreen ist für die Bedienung mit Handschuhen, schmutzigen Händen geeignet.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Symbole auf dem Touchscreen sind genügend groß, um sie mit Handschuhen bedienen zu können.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Bedienung der CNC-Steuerung ist für mich verständlich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sonstiges:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Teil C: Eingabegeräte (Mouse, Touchscreen) und Stellteile (Schalter, Tasten)

C 1 Bitte kreuzen Sie an, welche Greifarten bei der Benutzung Ihres Bedienfeldes vorkommen und ob Sie diese als ergonomisch empfinden. (Mehrfachantworten sind möglich.)

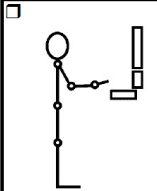
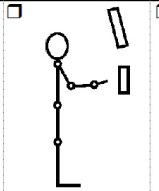
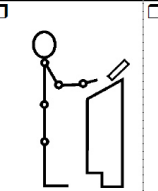
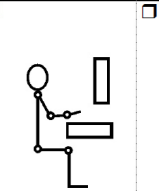
Greifart (Beispiel)	Abbildung	vorhanden	ergonomisch	Greifart (Beispiel)	Abbildung	vorhanden	ergonomisch
Drucktaster (durch Finger)		<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	Drehkopf		<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein
Druckschalter (durch Handfläche)		<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	Handgriff bzw. -kurbel		<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein
Fingerschieber		<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	Andere (Bitte benennen):	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein

C 2 Bitte kreuzen Sie an, welche Eingabegeräte an Ihrem Bedienfeld vorhanden sind und bewerten Sie, ob Sie diese als ergonomisch empfinden. (Mehrfachantworten sind möglich.)

Eingabegerät	Abbildung	vorhanden	ergonomisch	Warum ergonomisch bzw. unergonomisch?
Software- und Funktionstasten		<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	
Alphanumerische Tastatur		<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	
Maus		<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	
Trackball		<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	
Touchscreen		<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	
Andere (bitte benennen)	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein	

Teil D: Arbeitsplatzorganisation

D 1 Wählen Sie bitte auf den unten dargestellten Abbildungen den Steuerstand aus, der Ihrem Steuerstand am Arbeitsplatz am meisten ähnelt.

    Sonstiges

D 2 Ist Ihr Steuerstand Ihrer Meinung nach gut geeignet für die Bedienung der Maschine bzw. Anlage?

ja nein weiß nicht

D 3 Ist Ihr Steuerstand höhenverstellbar?

ja nein weiß nicht

D 4 Halten Sie die Höhe Ihres Steuerstandes für angemessen?

ja nein weiß nicht

E 2 Haben Sie Erkrankungen / Beschwerden des Muskel-Skelett-Systems?
(z.B. wiederholte Schmerzen in Gelenken oder Muskeln, Ischias, Rheuma)

- ja, Diagnose vom Arzt ja, eigene Schätzung nein

Wenn Sie mit „Ja“ geantwortet haben.

Wann sind diese Erkrankungen / Beschwerden erstmals aufgetreten?

<input type="checkbox"/> noch vor der Lehrausbildung	<input type="checkbox"/> in den ersten Monaten nach Beginn der Lehrausbildung	<input type="checkbox"/> nach vielen Monaten nach Beginn der Lehrausbildung
<input type="checkbox"/> in den ersten Monaten als Facharbeiter bzw. des Berufslebens	<input type="checkbox"/> nach vielen Monaten als Facharbeiter bzw. des Berufslebens	<input type="checkbox"/> Anderer Zeitpunkt <input type="checkbox"/> (Bitte benennen.):

Haben oder hatten Sie in den vergangenen 12 Monaten während oder nach der Arbeit Schmerzen oder Beschwerden in Bereich... (Mehrfachantworten sind möglich.)

<input type="checkbox"/> des Nackens	<input type="checkbox"/> der Schulter	<input type="checkbox"/> des oberen Rückens	<input type="checkbox"/> in sonstigen Bereichen _____
<input type="checkbox"/> der Hände	<input type="checkbox"/> der Hüfte	<input type="checkbox"/> der Ellenbogen	
<input type="checkbox"/> der Knie	<input type="checkbox"/> der Füße/ Unterschenkel	<input type="checkbox"/> des unteren Rückens/ Kreuzregion	

E 3 Wie häufig treiben Sie Sport?

- (fast) jeden Tag drei- bis fünfmal pro Woche ein- oder zweimal pro Woche nie / fast nie

E 4 In Ihrem täglichen Leben tragen Sie:

- eine Brille bin kurzsichtig, aber trage weder Brille noch Kontaktlinsen
 Kontaktlinsen bin weitsichtig, aber trage weder Brille noch Kontaktlinsen
 weder Brille noch Kontaktlinsen Anderes: _____

Wenn Sie eine Brille tragen, handelt es sich um:

- Einstärken- gläser Bifokal- oder Trifokalgläser Gleitsichtgläser Andere (Bitte benennen): _____

E 5 Ihr durchschnittlicher Arbeitstag dauert ...

... ca. _____ Stunden

E 6 Ihre durchschnittliche Arbeitswoche dauert...

... ca. _____ Stunden

Teil F: Ihre persönliche Meinung:

F 1 Welche Veränderungen an dem Bedienfeld Ihrer CNC-Maschine wünschen Sie sich?

Teil G: Allgemeine Frage zur Person

Ihr Alter	_____ Jahre
Ihr Geschlecht	<input type="checkbox"/> weiblich <input type="checkbox"/> männlich
Ihre Körpergröße	ca. _____ cm
Ihr Gewicht	ca. _____ kg
Ihre Ausbildung	
In welchem Berufs-/Lehrjahr sind Sie?	im _____ Jahr
Seit wann bedienen Sie CNC-Maschinen?	seit _____ Jahr(en)
Ihr/e Geburtsland / Nationalität	

Anhang 2: Datenschutzerklärung



Informationen zur Durchführung einer Befragung zum Umgang mit CNC-Maschinensteuerständen

Ziel

Moderne Arbeitsplätze werden häufig mit CNC-Maschinen ausgestattet, um komplexe und präzise Bearbeitungsvorgänge zu ermöglichen. Die Arbeit an einer CNC-Maschine birgt jedoch auch die Gefahr von Fehlbedienungen und daraus resultierenden Verletzungen, Maschinenschäden oder Produktionsausfällen. Diese Befragung soll dabei helfen, häufig auftretende Probleme und Schwierigkeiten beim Bedienen von CNC-Maschinensteuerständen festzustellen. Aus den Befragungsergebnissen sollen Maßnahmen abgeleitet werden, mit denen eine intuitive Bedienung besser gestalten werden kann.

Datenschutz


Diese Studie untersucht die *Bedienbarkeit von CNC-Maschinen* und *nicht die einzelnen Mitarbeiter*. Alle Daten werden anonym erhoben und ausgewertet und ausschließlich für wissenschaftliche Zwecke verwendet. Niemand weiß, von wem die ausgefüllten Bögen stammen. Ergebnisse werden nur so veröffentlicht, dass es nicht möglich ist, einzelne Personen zu identifizieren. Die Befragung wird durch ein unabhängiges Forschungsinstitut durchgeführt. Betriebsleitung und Mitarbeitervertretung haben der Durchführung dieser wissenschaftlichen Studie zugestimmt.

Ausfüllen

Bitte nehmen Sie sich die Zeit den Fragebogen möglichst vollständig auszufüllen. Je mehr Personen an der Befragung teilnehmen, desto besser wird die Qualität der Ergebnisse sein. Die Fragen beziehen sich auf *Ihren Arbeitsplatz*, *Ihre Arbeitserfahrung* und *Ihre Meinung*. Aus diesem Grunde bitten wir Sie, den Fragebogen für sich selbst, d.h. ohne die Mithilfe anderer zu beantworten. Sollte eine Frage auftauchen, die Sie nicht beantworten können, lassen Sie diese bitte aus. Bitte versuchen Sie trotzdem, so viele Fragen wie möglich zu beantworten.

Im Namen des Projektteams vielen Dank für Ihre Unterstützung!

Anhang 4: Post-Test-Fragebogen in Loop 1


RS-100X

Mit der CNC-Steuerung welchen Herstellers haben Sie gerade gearbeitet?

Siemens
 Heidenhain
 Fanuc

Die Bedienung dieser CNC-Steuerung fiel Ihnen...

<input type="checkbox"/> ₁	<input type="checkbox"/> ₂	<input type="checkbox"/> ₃	<input type="checkbox"/> ₄	<input type="checkbox"/> ₅	<input type="checkbox"/> ₆
sehr leicht			←	→	sehr schwer

Die Bedienung dieser Steuerung finde ich besser als die Bedienung von Siemens Heidenhain Fanuc

weil...

<input type="checkbox"/> ...die Bedienerführung übersichtlicher ist.	<input type="checkbox"/> ...die Tasten angenehmere Größe haben.
<input type="checkbox"/> ...relevante Informationen leichter zu finden sind.	<input type="checkbox"/> ...die Stellteile sinnvoller angeordnet sind.
<input type="checkbox"/> ...die Symbole auf dem Bildschirm besser lesbar sind.	<input type="checkbox"/> ...das Bedienfeld in einer angenehmen Höhe angebracht ist.


Sonstiges: _____

Bitte, nehmen Sie zu folgenden Aussagen Stellung:

	stimme voll und ganz zu	stimme im Großen und Ganzen zu	teils/ teils	stimme weniger zu	stimme überhaupt nicht zu	trifft nicht zu / nicht vorhanden
Die Stellteile sind so gestaltet, dass bei deren Betätigung (Drücken, Drehen oder Umschalten) Fehlbedienungen auftraten.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Stellteile sind so angeordnet, dass ich diese verwechselt habe.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Stellteile haben ausreichende Breite und Länge bzw. ausreichenden Durchmesser zur angenehmen Betätigung.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mehrfachbelegungen von Tasten verursachten Fehlbedienungen während des Programmiervorgangs.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wegen Reflexionen auf dem Bildschirm bzw. Bedienfeld konnten Informationen schlecht bzw. nicht abgelesen werden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Anordnung von Informationen auf dem Bildschirm war für mich unklar.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Als ich eine Fehlbedienung gemacht habe, wusste ich genau, wie ich diese korrigieren musste.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Aufgrund zu geringer Zeichengröße waren Symbole auf dem Bedienfeld bzw. am Bildschirm schwer bzw. nicht zu erkennen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Abkürzungen bzw. Symbole auf dem Bildschirm bzw. auf dem Bedienfeld waren für mich unverständlich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Bedienerführung dieser CNC-Steuerung war für mich unverständlich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich hatte Schwierigkeiten die erforderlichen Befehle (Informationen) zu finden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Anordnung von Stellteilen war mir unklar.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Körperhaltungen bei der Arbeit an dieser CNC-Maschine bewerte ich als sehr anstrengend.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sonstiges: _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Welche Veränderungen (neue Funktionen, Eigenschaften, Hilfsmitteln u.ä.) an dieser CNC-Maschine würden Sie sich wünschen?

Anhang 5: Checkliste zur Erfassung von Informationen vom und zum Arbeitsplatz in Loop 1

	
Unternehmen: _____	
A	Arbeitsplatzorganisation
	Steuerungstyp:
	Hersteller _____ Modell _____ Jahr _____
	Die Steuerung ist für folgendes Verfahren anwendbar
	<input type="checkbox"/> fräsen <input type="checkbox"/> drehen <input type="checkbox"/> schleifen <input type="checkbox"/> mehrere Verfahren
	Ist der Steuerstand höhenverstellbar?
	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein
	Steht am Steuerstand eine Sitzhilfe zur Verfügung?
	<input type="checkbox"/> ja, Stuhl <input type="checkbox"/> ja, Stehhocker/Stehsitz <input type="checkbox"/> nein
	Anordnung des Steuerstandes an dem Gehäuse zum Arbeitsraum
<input type="checkbox"/> rechts <input type="checkbox"/> links <input type="checkbox"/> flexibel	
B	Stellteile und Eingabegeräte
	Tastentyp
	<input type="checkbox"/> Knopftastatur <input type="checkbox"/> Folientastatur glatt <input type="checkbox"/> Folientastatur mit Tastenausformung
	<input type="checkbox"/> Andere: _____
	Tastenanordnung (Mehrfachantwort ist möglich)
	<input type="checkbox"/> Anordnung der Tasten nach Funktionsblöcken <input type="checkbox"/> Alphabetisches Tastenfeld <input type="checkbox"/> Numerisches Tastenfeld (Zehnerblock)
	<input type="checkbox"/> Separate Richtungstasten in Kreuzform <input type="checkbox"/> Tastenfeld für Systemfunktionen <input type="checkbox"/> Tastenfeld für Maschinenfunktionen
	<input type="checkbox"/> Andere: _____
	Tastengestaltung (Mehrfachantwort ist möglich)
	<input type="checkbox"/> Tasten deutschsprachig beschriftet <input type="checkbox"/> Tasten symbolisiert / ISO 2972 <input type="checkbox"/> Tasten farbig kodiert
<input type="checkbox"/> Tasten durch Formgebung codiert <input type="checkbox"/> Andere: _____	
Falls gleichfarbigen Tastern unterschiedliche Funktionen zugeordnet sind; sind diese durch zusätzliche Merkmale (z.B. durch Form) unterscheidbar?	
<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> anderes: _____	
Sind zusammengehörige Anzeige- und Bedienelemente gruppiert angeordnet und durch Codierung (Rahmen, Form, Position, Tastenblock) gekennzeichnet?	
<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> anderes: _____	
Welche weiteren Eingabegeräte sind vorhanden? (Mehrfachantwort ist möglich)	
<input type="checkbox"/> PC-Tastatur <input type="checkbox"/> Fingermaus <input type="checkbox"/> Touchpad <input type="checkbox"/> Rollkugel	
<input type="checkbox"/> weitere: _____ <input type="checkbox"/> trifft nicht zu	
Ist es möglich während des Fertigungsprozesses eine Neuprogrammierung durchzuführen?	
<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/> anderes: _____	

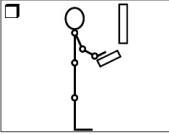
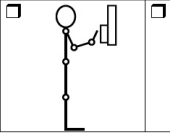
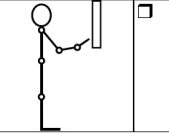
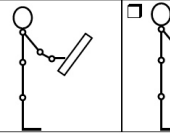

ASER

C Anzeigeräte

Sind die Informationen vom Display auch von seitlicher Arbeitsposition aus deutlich zu erkennen?

ja nein anderes: _____

Bedienfeldanordnung

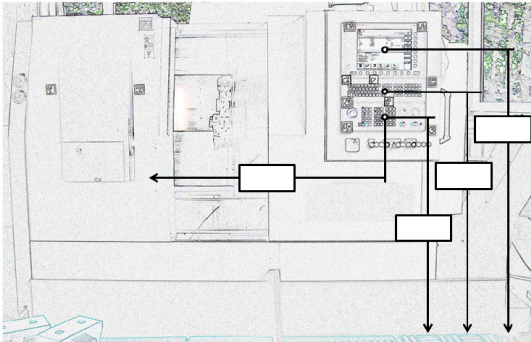
geneigt zw. 5-15 grad.

Handauflagefläche zw. 50 und 100 mm anderes: _____

Mehrfachbelegungen von Tasten sind auf allgemein bekannte Funktionen beschränkt. ja nein

Ist es möglich bei langdauernder oder genauer Eingabe Finger/Hand/Arm auf der Arbeitsfläche oder dem Eingabegerät aufzulegen. ja nein





Abstand Mitte Bedienfeld – Mitte Fertigungsraum (b. z. Futter)	_____	cm
Höhe der wichtigen Bedienelemente (häufig: 95-150cm)	_____	_____



Abmessungen: Bildschirm

Bildschirm Diagonal	_____	mm	Zeichenhöhe (mind. 4 mm)	_____	mm
Zeichenbreite (mind. 50% der Zeichenhöhe)	_____	mm			
Besteht die Möglichkeit die Schriftart/-größe einzustellen	<input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein			

Abmessungen: Bedienfeld

Fingerkontakt (Ø / Länge 7 mm)		_____	cm
Kontakt mit Daumen (Breite/Ø/Länge >=20 mm)		_____	cm
Kontakt mit flacher Hand (Breite/Ø/Länge >=40 mm)		_____	cm
Zufassung Finger-Daumen (Breite/Ø/Länge 7...80 mm)		_____	cm

Anhang 6: Angaben und Tabellenwerte zur Körpergröße

Tab. 11.1: Verteilung der Werte zur Körpergröße männlicher und weiblicher Probanden nach Altersgruppen – Daten aus dem Loop 3 im Vergleich zu den Angaben aus DIN 33402-2 [2005], Tab. 3 (Werte in Klammern)

Altersgruppen nach DIN 33402-2 [2005]	Körpergröße in mm					
	männlich			weiblich		
	P5	P50	P95	P5	P50	P95
18-65	1690 (1650)	1800 (1750)	1940 (1855)	1580 (1535)	1660 (1625)	1780 (1720)
18-25	1718 (1685)	1800 (1790)	1954 (1910)	1576 (1560)	1670 (1660)	1830 (1760)
26-40	1680 (1665)	1800 (1765)	1930 (1870)	1580 (1545)	1670 (1635)	1782 (1725)
41-60	1680 (1630)	1800 (1735)	1960 (1835)	1576 (1525)	1650 (1615)	1780 (1705)
61-65	1675 (1605)	1780 (1710)	1930 (1805)	1510 (1510)	1650 (1595)	- (1685)

Tab. 11.2: Verteilung der Werte zur Körpergröße männlicher und weiblicher Probanden nach Altersgruppen – Daten aus Loop 3 im Vergleich zu Daten aus GREIL et al. [2008], Tab. 4.49 (Werte in Klammern)

Altersgruppen nach GREIL et al. [2008]	Körpergröße in mm					
	männlich			weiblich		
	P5	P50	P95	P5	P50	P95
	1690 (1685)	1800 (1775)	1930 (1864)	1564 (1555)	1650 (1630)	1760 (1744)
20-29	1730 (1707)	1800 (1799)	1930 (1897)	1583 (1563)	1670 (1658)	1826 (1766)
50-59	1659 (1695)	1810 (1779)	1930 (1859)	1567 (1549)	1650 (1624)	1757 (1751)
60-69	1671 (1653)	1780 (1746)	1900 (1838)	1542 (1553)	1650 (1609)	1742 (1715)

Anhang 7: Angaben und Tabellenwerte zum Körpergewicht

Tab. 11.3: Verteilung der Werte zum Körpergewicht männlicher und weiblicher Probanden nach Altersgruppen – Daten aus Loop 3 im Vergleich zu den Angaben aus DIN 33402-2 [2005], Tab. 2 (Werte in Klammern)

Altersgruppen nach DIN 33402-2 [2005]	Körpergewicht in kg					
	männlich			weiblich		
	P5	P50	P95	P5	P50	P95
18-65	65,0 (63,5)	85,0 (79,0)	115,0 (100,0)	50,0 (52,0)	67,0 (66,0)	94,5 (87,0)
18-25	61,8 (59,5)	78,0 (72,5)	107,6 (95,0)	45,8 (49,0)	65,0 (60,0)	108,0 (78,5)
26-40	64,0 (63,5)	86,0 (78,5)	115,0 (101,0)	49,9 (50,5)	64,0 (63,5)	95,6 (86,5)
41-60	70,0 (65,0)	89,0 (82,0)	120,0 (102,5)	50,2 (54,0)	68,0 (69,5)	94,0 (90,5)
61-65	62,5 (64,0)	80,0 (81,0)	106,5 (97,5)	54,0 (54,5)	67,5 (70,5)	- (89,0)

Tab. 11.4: Verteilung der Werte zum Körpergewicht männlicher und weiblicher Probanden nach Altersgruppen – Daten aus Loop 3 im Vergleich zu den Angaben aus GREIL et al. [2008], Tab. 4.109

Altersgruppen nach GREIL et al. [2008]	Körpergewicht in kg					
	männlich			weiblich		
	P5	P50	P95	P5	P50	P95
	65,0 (69,1)	84,0 (79,2)	120,0 (106,1)	51,0 (53,2)	67,0 (66,4)	90,8 (86,9)
20-29	65,0 (68,6)	82,5 (75,4)	129,5 (101,6)	49,2 (49,8)	64,5 (60,9)	114,8 (75,4)
50-59	69,6 (70,3)	85,0 (84,3)	120,0 (108,8)	55,7 (52,2)	69,5 (67,6)	92,0 (96,1)
60-69	64,2 (68,4)	83,0 (82,9)	109,4 (108,0)	50,2 (57,7)	67,0 (70,8)	90,0 (89,2)

Anhang 8: Tabellen zu anthropometrischen Daten: hier: Daumendicke

Tab. 11.5: Verteilung der Werte zur Daumendicke männlicher und weiblicher Probanden nach Altersgruppen – Daten aus Loop 3 im Vergleich zu Angaben aus DIN 33402-2 [2005], Tab. 53 (Werte in Klammern)

Altersgruppen nach DIN 33402-2 [2005]	Daumendicke (körperfern) in mm					
	männlich			weiblich		
	P5	P50	P95	P5	P50	P95
18-65	20 (20)	23 (22)	27 (24)	17 (16)	20 (20)	25 (22)
18-25	20 (20)	22 (22)	25 (24)	17 (17)	19 (20)	22 (23)
26-40	20 (20)	23 (22)	27 (24)	17 (17)	20 (21)	25 (23)
41-60	20 (21)	24 (23)	27 (25)	18 (16)	21 (20)	25 (22)
61-65	20 (20)	25 (22)	28 (24)	19 (16)	21 (19)	- (21)

Tab. 11.6: Verteilung der Werte zur Daumendicke männlicher und weiblicher Probanden nach Altersgruppen – Daten aus Loop 3 im Vergleich zu Angaben aus GREIL et al. [2008], Tab. 4.104 (Werte in Klammern)

Altersgruppen nach GREIL et al. [2008]	Daumendicke (körperfern, rechte Hand) in mm					
	männlich			weiblich		
	P5	P50	P95	P5	P50	P95
	20 (21)	23 (23)	27 (26)	17 (17)	21 (19)	25 (22)
20-29	20 (20)	22 (21)	26 (24)	16 (17)	19 (18)	25 (21)
50-59	20 (21)	24 (23)	28 (26)	18 (17)	22 (20)	25 (22)
60-69	19 (21)	24 (24)	27 (28)	17 (18)	22 (20)	26 (22)

Anhang 9: Tabellen zu anthropometrischen Daten: hier: Zeigefingerdicke

Tab. 11.7: Verteilung der Werte zur Zeigefingerdicke männlicher und weiblicher Probanden nach Altersgruppen – Daten aus Loop 3 im Vergleich zu Angaben aus DIN 33402 [2005], Tab. 45 (Werte in Klammern)

Altersgruppen nach DIN 33402-2 [2005]	Zeigefingerdicke (körperfern) in mm					
	männlich			weiblich		
	P5	P50	P95	P5	P50	P95
18-65	14 (17)	17 (18)	21 (20)	12 (14)	15 (16)	19 (18)
18-25	13 (16)	15 (17)	19 (19)	11 (13)	13 (16)	17 (19)
26-40	14 (16)	17 (18)	21 (20)	11 (14)	15 (17)	19 (19)
41-60	14 (17)	18 (18)	21 (20)	12 (14)	16 (16)	19 (18)
61-65	16 (17)	18 (18)	21 (20)	13 (14)	17 (16)	-* (18)

Tab. 11.8: Verteilung der Werte zur Zeigefingerdicke männlicher und weiblicher Probanden nach Altersgruppen – Daten aus Loop 3 im Vergleich zu Angaben aus GREIL et al. [2008], Tab. 4.105 (Werte in Klammern)

Altersgruppen nach GREIL et al. [2008]	Zeigefingerdicke (körperfern, rechte Hand) in mm					
	männlich			weiblich		
	P5	P50	P95	P5	P50	P95
	13 (17)	17 (18)	21 (21)	12 (15)	16 (16)	20 (18)
20-29	13 (16)	16 (17)	21 (20)	11 (14)	14 (15)	20 (16)
50-59	15 (17)	18 (19)	22 (20)	13 (15)	17 (16)	20 (19)
60-69	13 (18)	18 (19)	22 (22)	12 (15)	17 (17)	20 (19)

Anhang 10: Tabellen zu anthropometrischen Daten: Daumen- und Zeigefingerdicke für verschiedene Berufsgruppen

Tab. 11.9: Verteilung der Werte zur Daumendicke männlicher Probanden - Vergleich zwischen Beschäftigten aus dem Produktionsbereich und anderen Berufen – Daten aus Loop 3

Altersgruppen nach DIN 33402-2 [2005]	Daumendicke (körperfern) in mm					
	Produktionsberufe			andere Berufe		
	P5	P50	P95	P5	P50	P95
18-65	21	24	27	20	23	27
18-25	21	22	-	19	22	25
26-40	20	23	-	20	23	27
41-60	21	25	27	19	24	27
61-65	26	26	-	20	24	28

Tab. 11.10: Verteilung der Werte zur Zeigefingerdicke männlicher Probanden - Vergleich zwischen Beschäftigten aus dem Produktionsbereich und anderen Berufen – Daten aus Loop 3

Altersgruppen nach DIN 33402-2 [2005]	Zeigefingerdicke (körperfern) in mm					
	Produktionsberufe			andere Berufe		
	P5	P50	P95	P5	P50	P95
18-65	14	18	21	14	17	21
18-25	14	17	-	13	15	19
26-40	14	18	-	14	17	21
41-60	15	18	22	14	18	21
61-65	19	19	-	15	18	21

Anhang 11: Lebenslauf

Inna Levchuk, Mag. Dipl.-Ing.

Der Lebenslauf ist in der Online-Version aus Gründen des Datenschutzes nicht enthalten.

Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne unerlaubte fremde Hilfe verfasst habe. Des Weiteren erkläre ich, dass alle wörtlich oder sinngemäß aus Veröffentlichungen entnommenen Stellen dieser Arbeit unter Quellenangabe einzeln kenntlich gemacht sind.

Inna Levchuk

Haarlem, im Mai 2016

Schriftenreihe der ASER-Forschungsberichte:

SCHAFFELD, W.; K.-H. LANG, HJ. GEBHARDT:

Hitzearbeit in der Aluminiumindustrie*

Forschungsbericht - Nr. 1, Institut ASER e.V., Wuppertal, Juni 2001

GEBHARDT, HJ.; K.-H. LANG:

Beurteilung der Belastungen durch manuelle Handhabung von Lasten beim Einlegen von Prospekten in der Zeitungsproduktion*

Forschungsbericht - Nr. 2, Institut ASER e.V., Wuppertal, August 2001

LANG, K.-H.; H. SCHRAMM:

Hitzearbeit in der Papierindustrie*

Forschungsbericht - Nr. 3, Institut ASER e.V., Wuppertal, Dezember 2001

ECHTERHOFF, W.; C. KRAFT:

Sicherungssysteme an Gewässern - Analyse verhaltenswissenschaftlicher Bedingungen von Unfällen externer Personen*

Forschungsbericht - Nr. 4, Institut ASER e.V., Wuppertal, März 2002

SASSMANNSHAUSEN, A.; K.-H. LANG:

Evaluation des Umsetzungsstandes der sicherheitstechnischen und arbeitsmedizinischen Betreuung in den deutschen Niederlassungen eines internationalen Logistikunternehmens*

Forschungsbericht - Nr. 5, Institut ASER e.V., Wuppertal, Juli 2003

* In der Regel werden die ASER-Forschungsberichte mit ISBN ausgestattet und sind in der Papierversion erwerbbar oder werden teilweise auch als PDF-Datei zum Download angeboten. In die Schriftenreihe der ASER-Forschungsberichte werden u.a. auch solche Forschungsergebnisse eingestellt, die aus Gründen des Datenschutzes vorerst nicht in einer zusammenhängenden Darstellungsform frei veröffentlicht werden können oder sollen und eine Anonymisierung dieser alleinstehenden Forschungsergebnisse noch nicht vorgenommen werden konnte (z.B. wissenschaftliche Gutachten zu Fragestellungen in den Systemgrenzen einzelner Organisationen). Solche Titel sind jeweils am Titelseite mit einem Stern „*“ gekennzeichnet. Die Aufbereitung dieser Forschungsergebnisse in die Form der ASER-Forschungsberichte dient der Qualitätssicherung und der Möglichkeit die Forschungsergebnisse in anonymisierter Form in spätere Veröffentlichungen mit geringerem Aufwand einfließen zu lassen.

SEILER, K.; F. RODOULI, K.-H. LANG, B.H. MÜLLER:

Untersuchungsergebnisse zur Reflektion beteiligter Netzwerkpartner am Kooperationsnetzwerk „Gesünder Arbeiten mit System“ der rheinisch-bergischen Region*

Forschungsbericht - Nr. 6, Institut ASER e.V., Wuppertal, November 2003

TASCHBACH, T.; K.-H. LANG, B.H. MÜLLER:

Ergonomische Gestaltung von Maschinen: Berücksichtigung von europäischen Normen bei der Konstruktion von Maschinen*

Forschungsbericht - Nr. 7, Institut ASER e.V., Wuppertal, Dezember 2003

RODOULI, F.:

Commitment und Motivation von Informationsgebern in einem virtuellen Informations-Netzwerk zum Arbeitsschutz

Forschungsbericht - Nr. 8, Institut ASER e.V., Wuppertal, Januar 2004

SASSMANNSHAUSEN, A.; F. RODOULI, K.-H. LANG, R. TIELSCH, K. SEILER:

Orientierende Bestandsaufnahme zur Beteiligung von Unternehmen an Kooperationsnetzwerken mit dem Schwerpunkt 'Betriebliche Gesundheitsförderung'

Forschungsbericht - Nr. 9, Institut ASER e.V., Wuppertal, Mai 2004

LANG, K.-H.:

Stand von Good-Practice-Datenbanken zur Arbeitsgestaltung in Deutschland*

Forschungsbericht - Nr. 10, Institut ASER e.V., Wuppertal, Juni 2004

LANG, K.-H.; A. SCHÄFER, N. SCHAUERTE, T. SPIELMANN:

Good-Practice-Projekt der Gemeinschaftsinitiative Gesünder Arbeiten (G2P GiGA) – Machbarkeitsstudie*

Forschungsbericht - Nr. 11, Institut ASER e.V., Wuppertal, Februar 2005

LANG, K.-H.; T. LANGHOFF:

Arbeitsschutzberatung als Teil einer neuen Qualität der Unternehmensgründung

Forschungsbericht - Nr. 12, Institut ASER e.V., Wuppertal, März 2005

PIEPER, R.; K.-H. LANG (HRSG.):

Sicherheitsrechtliches Kolloquium 2004 – 2005 (Band 1)

Forschungsbericht - Nr. 13, Institut ASER e.V., Wuppertal, Januar 2006

PIEPER, R.; K.-H. LANG (Hrsg.):

Sicherheitsrechtliches Kolloquium 2005 – 2006 (Band 2)

Forschungsbericht - Nr. 14, Institut ASER e.V., Wuppertal, Januar 2007

LANG, K.-H.; A. SAßMANNSHAUSEN, A. SCHÄFER, K. NOLTING:

Abschlussbericht zum Pilotprojekt REACH-Net – Langfassung –

Forschungsbericht - Nr. 15, Institut ASER e.V., Wuppertal, Juli 2007

LANG, K.-H.; A. SAßMANNSHAUSEN, A. SCHÄFER, K. NOLTING:

Abschlussbericht zum Pilotprojekt REACH-Net – Kurzfassung –

Forschungsbericht - Nr. 16, Institut ASER e.V., Wuppertal, Oktober 2007

LANG, K.-H.; M. DEILMANN, H. NOVER:

**Zusammenfassung und Fortschreibung der Ergebnisse
zum Pilotprojekt REACH-Net**

Forschungsbericht - Nr. 17, Institut ASER e.V., Wuppertal, November 2007

PIEPER, R.; K.-H. LANG (Hrsg.):

Sicherheitswissenschaftliches Kolloquium 2006 – 2007 (Band 3)

Forschungsbericht - Nr. 18, Institut ASER e.V., Wuppertal, Januar 2008

PIEPER, R.; K.-H. LANG (Hrsg.):

Sicherheitswissenschaftliches Kolloquium 2007 – 2008 (Band 4)

Forschungsbericht - Nr. 19, Institut ASER e.V., Wuppertal, April 2009

KLUSSMANN, A.:

**Ermittlung und Bewertung von Ansatzpunkten zur Prävention
von Kniegelenksarthrosen im Arbeitsleben**

Forschungsbericht - Nr. 20, Institut ASER e.V., Wuppertal, Oktober 2009

MÜHLEMEYER, C.; HJ. GEBHARDT, K.-H. LANG:

**Entwicklung einer Einstufungshilfe zur Beurteilung von sonstigen
Umgebungseinflüssen für die Anwendung im Rahmen des ERA-TV BW***

Forschungsbericht - Nr. 21, Institut ASER e.V., Wuppertal, Oktober 2009

ROSKOPF, N.:

Kontinuierliche Verbesserung von Sicherheit und Gesundheitsschutz als Herausforderung und Chance für Fremdfirmen in Unternehmen der Rheinischen Braunkohlenindustrie

Forschungsbericht - Nr. 22, Institut ASER e.V., Wuppertal, Januar 2010

PIEPER, R.; K.-H. LANG (Hrsg.):

Sicherheitswissenschaftliches Kolloquium 2008 – 2009 (Band 5)

Forschungsbericht - Nr. 23, Institut ASER e.V., Wuppertal, Juni 2010

MÜHLEMEYER, CH.; K.-H. LANG, A. KLUßMANN, HJ. GEBHARDT

Ermittlung von Erholzeiten bei typischen Arbeitssystemen in der Metall- und Elektroindustrie*

Forschungsbericht - Nr. 24, Institut ASER e.V., Wuppertal, 2010

PIEPER, R.; K.-H. LANG (Hrsg.):

Sicherheitswissenschaftliches Kolloquium 2009 – 2010 (Band 6)

Forschungsbericht - Nr. 25, Institut ASER e.V., Wuppertal, April 2011

LEVCHUK, I.; A. KLUßMANN, K.-H. LANG, HJ. GEBHARDT

Verfahren der Usability-Evaluation – Methoden und Instrumente zur Prüfung der Gebrauchstauglichkeit von Produkten

Forschungsbericht - Nr. 26, Institut ASER e.V., Wuppertal, 2011

PIEPER, R.; K.-H. LANG (Hrsg.):

Sicherheitswissenschaftliches Kolloquium 2010 – 2011 (Band 7)

Forschungsbericht - Nr. 27, Institut ASER e.V., Wuppertal, März 2012

PIEPER, R.; K.-H. LANG (Hrsg.):

Sicherheitswissenschaftliches Kolloquium 2011 – 2012 (Band 8)

Forschungsbericht - Nr. 28, Institut ASER e.V., Wuppertal, Mai 2013

PIEPER, R.; K.-H. LANG (Hrsg.):

Sicherheitswissenschaftliches Kolloquium 2012 – 2013 (Band 9)

Forschungsbericht - Nr. 29, Institut ASER e.V., Wuppertal, Juni 2014

PIEPER, R.; K.-H. LANG (Hrsg.):

Sicherheitswissenschaftliches Kolloquium 2013 – 2014 (Band 10)

Forschungsbericht - Nr. 30, Institut ASER e.V., Wuppertal, Juni 2015

BOCK, T.:

Rahmenbedingungen und Beeinflussungsmöglichkeiten kultureller Aspekte in Bezug auf Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit

Forschungsbericht - Nr. 31, Institut ASER e.V., Wuppertal, Oktober 2015

PIEPER, R.; K.-H. LANG (Hrsg.):

Sicherheitswissenschaftliches Kolloquium 2014 – 2015 (Band 11)

Forschungsbericht - Nr. 32, Institut ASER e.V., Wuppertal, April 2016

PIEPER, R.; K.-H. LANG (Hrsg.):

Sicherheitswissenschaftliches Kolloquium 2015 – 2016 (Band 12)

Forschungsbericht - Nr. 33, Institut ASER e.V., Wuppertal, April 2017

GEBHARDT, HJ.; B. HEISEL, C. MÜHLEMEYER, K.-H. LANG

Methodik und Handlungshilfe für eine inkludierte Gefährdungsbeurteilung*

Forschungsbericht - Nr. 34, Institut ASER e.V., Wuppertal, April 2017

VOGEL, D.A.:

Konzeptions- und Handlungsmöglichkeiten zur Gestaltung von betrieblichen Anreizsystemen zur Verbesserung von Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten bei der Arbeit

Forschungsbericht - Nr. 35, Institut ASER e.V., Wuppertal, April 2017

LEVCHUK, I.:

Optimierung der Gebrauchstauglichkeit von CNC-Maschinensteuerständen als Beitrag zur menschengerechten Arbeitsgestaltung

Forschungsbericht - Nr. 36, Institut ASER e.V., Wuppertal, Mai 2017

ISBN 978-3-936841-33-6