



Einflüsse altersabhängiger Veränderungen von Bedienpersonen auf die sichere Nutzung von Handmaschinen

S. Riedel, F. Gillmeister, J. Kinne

**Forschung
Projekt F 2118**

S. Riedel
F. Gillmeister
J. Kinne

**Einflüsse altersabhängiger Veränderungen
von Bedienpersonen auf die sichere
Nutzung von Handmaschinen**

Dortmund/Berlin/Dresden 2012

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Kurzreferat	7
Abstract	8
Résumé	9
1 Einleitung	10
2 Bedienung von Handmaschinen – relevante altersabhängige Einflussfaktoren	11
2.1 Vitalität und biologisches Funktionsalter	11
2.2 Mentale Funktionen	12
2.2.1 Gedächtnisleistung	12
2.2.2 Nervensystem	14
2.3 Psychomotorische Fähigkeiten	14
2.3.1 Reaktionszeit	15
2.4 Körperliche Funktionen	17
2.4.1 Pulsfrequenz und Blutdruck	17
2.4.2 Körperkraft	20
2.4.3 Bewegungsfähigkeit	21
2.4.4 Feinmotorik	21
2.4.5 Haut	23
2.5 Sinnesorgane	24
2.5.1 Sehfähigkeit	24
2.5.2 Hörfähigkeit	25
2.5.3 Vibrationssensibilität	26
2.5.4 Sonstige Sinne	27
2.6 Leistungsfähigkeit am Arbeitsplatz	27
3 Unfall- und Krankheitsstatistik	31
3.1 Altersabhängige Krankheiten	31
3.1.1 Krankenstand und AU-Tage	31
3.1.2 Langzeiterkrankungen	34
3.1.3 Erkrankungsarten	34
3.2 Altersabhängige Berufskrankheiten	35
3.3 Altersabhängige Unfälle	36
3.3.1 Unfälle mit Handmaschinen	38
4 Befragung zu subjektiven Belastungseinschätzungen	40
4.1 Methode	40
4.2 Interviews	43
4.3 Ergebnisse	43
5 Experimentelle Versuche zur Ermittlung altersabhängiger Einflussfaktoren	54
5.1 Versuchspersonen	56
5.1.1 Festlegung von Altersgruppen der Versuchspersonen	56
5.1.2 Alter	58
5.1.3 Erfahrung	58
5.1.3.1 Versuch Hochdruckreiniger	59

5.1.3.2	Versuch Winkelschleifer	60
5.1.3.3	Versuch Akkuschauber	60
5.1.4	Körpermaße	61
5.2	Experimentelle Versuche – Hochdruckreiniger	62
5.2.1	Ermittlung der Belastungsparameter	62
5.2.2	Methodik	64
5.2.3	Ergebnisse – vor Beginn der Exposition	66
5.2.3.1	Maximale Greifkraft F_{gr}	66
5.2.3.2	Pulsfrequenz	67
5.2.3.3	Blutdruck	68
5.2.3.4	d2-Test	69
5.2.4	Ergebnisse – nach der Exposition	69
5.2.4.1	Maximale Greifkraft F_{gr}	69
5.2.4.2	Blutdruck	71
5.2.4.3	Pulsfrequenz	72
5.2.4.4	d2-Test	73
5.2.5	Diskussion	74
5.2.5.1	Pulsfrequenz	74
5.2.5.2	Leistungsfähigkeit (subjektiv)	76
5.3	Experimentelle Versuche – Winkelschleifer	78
5.3.1	Einleitung	78
5.3.2	Methodik	82
5.3.2.1	Vibrationssensibilität	84
5.3.2.2	Purdue-Steckbrett	84
5.3.3	Ergebnisse – vor Beginn der Exposition	85
5.3.3.1	Blutdruck	85
5.3.3.2	Pulsfrequenz	86
5.3.3.3	Körpergröße	87
5.3.3.4	Purdue-Steckbrett	87
5.3.3.5	Vibrationssensibilität	89
5.3.4	Ergebnisse – nach der Exposition	89
5.3.4.1	Purdue-Steckbrett	89
5.3.4.2	Vibrationssensibilität	93
5.3.5	Diskussion Versuch „Winkelschleifer“	95
5.3.5.1	Alter und Feinmotorik bzw. Vibrationssensibilität	95
5.3.5.2	Alter und Erholung	96
5.3.5.3	Leistungsfähigkeit (objektiv)	97
5.4	Experimenteller Versuch – Akkuschauber	100
5.4.1	Einleitung	100
5.4.2	Methodik	100
5.4.2.1	Versuchsstand	100
5.4.2.2	Messtechnik	101
5.4.3	Ergebnisse – vor Beginn der Exposition	103
5.4.3.1	Blutdruck	103
5.4.3.2	Pulsfrequenz	104
5.4.4	Ergebnisse – während der Exposition	105
5.4.4.1	Schraubdauer	106
5.4.4.2	Reaktionszeit	109
5.4.4.3	Elektrische Muskelaktivität	111
5.4.5	Ergebnisse – nach der Exposition	111

5.4.5.1	Greifkraft	111
5.4.5.2	Subjektive Einschätzung	113
5.4.6	Diskussion	114
5.4.6.1	Einfluss der Erfahrung im Umgang mit Handmaschinen auf die Greifkraft	114
5.4.6.2	Einfluss der Erfahrung auf die subjektive Einschätzung	115
5.4.6.3	Einfluss der Erfahrung auf die Reaktionszeit	116
5.4.6.4	Reaktionszeit und Schraubdauer	117
5.4.6.5	Leistungsfähigkeit (objektiv)	118
5.5	Verknüpfungen anthropometrischer Daten mit subjektiven Belastungseinschätzungen	120
5.6	Verknüpfung anthropometrischer Daten mit dem Datensatz „Handkräfte“	123
6	Konstruktionsvorschläge	125
6.1	Hochdruckreiniger	125
6.1.1	Bedienkräfte	125
6.1.1.1	Rückstoßkraft $F_{\text{Rück}}$	126
6.1.1.2	Gewichtskraft der Spritzpistole F_{Gewicht}	127
6.1.1.3	Betätigungskraft $F_{\text{Betätigung}}$	127
6.1.2	Schwingungsminderung	128
6.2	Winkelschleifer	129
6.2.1	Griffgestaltung	129
6.2.2	Schalter	131
6.2.3	Schwingungsminderung	133
6.2.4	Weitere Konstruktionsmerkmale	133
6.3	Akkuschrauber	133
7	Zusammenfassung	136
7.1	Wissensstand	136
7.2	Befragung	137
7.3	Experimentelle Untersuchungen	137
7.3.1	Beanspruchungsindikatoren vor der Exposition	139
7.3.1.1	Maximale Greifkraft F_{gr}	139
7.3.1.2	Vibrationssensibilität und Feinmotorik	139
7.3.1.3	d2-Test	139
7.3.1.4	Pulsfrequenz und Blutdruck	139
7.3.2	Beanspruchungsindikatoren nach der Exposition	140
7.3.2.1	Maximale Greifkraft F_{gr}	140
7.3.2.2	Pulsfrequenz und Blutdruck	140
7.3.2.3	Feinmotorik, Vibrationssensibilität und Aufmerksamkeit	140
7.3.2.4	Reaktionszeit	140
7.3.2.5	Subjektive Einschätzung der Belastung	141
7.4	Leistungsfähigkeit der Älteren	141
7.5	Ergebnisüberblick	144
8	Diskussion und Ausblick	145
	Literaturverzeichnis	148
	Danksagung	154
	Anhang	155

Einflüsse altersabhängiger Veränderungen von Bedienpersonen auf die sichere Nutzung von Handmaschinen

Kurzreferat

Der demografische Wandel führt innerhalb des deutschen Arbeitsmarktes dazu, dass im Verlauf des nächsten Jahrzehnts verstärkt auf ältere Arbeitnehmer zurückgegriffen werden muss. Eine Reihe ihrer vor allem körperlichen und sinnlichen Fähigkeiten unterliegt dem, was Fachleute den „natürlichen Altersgang“ nennen. Das heißt diese Fähigkeiten nehmen mit zunehmendem Alter ab, wenn auch häufig nicht in dem Maß, wie früher oft angenommen wurde. Am wichtigsten, weil sowohl für körperliche als auch für geistige Prozesse zutreffend, ist das Nachlassen der Prozessgeschwindigkeit. Zu den abnehmenden Fähigkeiten gehören Sinnesfunktionen wie z. B. die Hör- und die Sehfähigkeit. Körperliche Kräfte und damit bis zu einem gewissen Grad die körperliche Ausdauer und Belastbarkeit nehmen ebenfalls schon im dritten, besonders stark dann im fünften Lebensjahrzehnt ab.

Der Zusammenhang zwischen dem **Alter des Bedieners** und der **Einzelbelastung des Bedieners** ist für viele Belastungsarten ausreichend untersucht worden. Realität ist aber, dass an Arbeitsplätzen **multifaktorielle Belastungskombinationen** vorherrschend sind.

Versuche mit handgehaltenen und handgeführten Arbeitsmitteln bei multifaktorieller Belastung des Bedieners – wie z. B. hohe Ankopplungskräfte kombiniert mit Vibrationsexposition – konnten monofaktoriell ermittelte altersabhängige Veränderungen wie z. B. das Nachlassen von Greifkräften, die Abnahme der Vibrationssensibilität und der Feinmotorik und die Zunahme der Reaktionszeit bestätigen. Daneben wurde durch die multifaktorielle Belastung teilweise eine Verstärkung der Belastung der älteren Versuchspersonen sichtbar (Vibrationssensibilität). An den Versuchen nahmen nur männliche Personen teil. Auf der anderen Seite zeigte sich, dass etwa 50 % der Versuchspersonen über 55 Jahre eine Leistungsfähigkeit aufweisen, die weitgehend jener entspricht, die unter 55 Jahre alte Versuchspersonen erbringen können.

Mit einer geänderten Arbeitsorganisation (Pausenregelung, Schichtarbeit) und einem unter Beachtung der vorliegenden Erkenntnissen ergonomisch gestalteten Arbeitsplatz können nachteilige Auswirkungen des demografischen Wandlungsprozesses kompensiert und auch eingeschränkt leistungsfähige ältere Beschäftigte in den Arbeitsprozess eingebunden werden. Zu einem altersgerecht gestalteten Arbeitsplatz gehören selbstverständlich auch entsprechend konstruierte und gestaltete Arbeitsmittel und Arbeitsmaschinen, die an die Arbeitsaufgabe und die Leistungsvoraussetzung des Menschen unter Berücksichtigung seiner Arbeitsbiologie (psychische, medizinische und physiologische Leistungsfähigkeit) und der Arbeitstechnik (technologische Arbeitsgestaltung) angepasst sind. Die gewonnenen Erkenntnisse sollten zu einer Weiterentwicklung der Gefährdungsbeurteilung in Bezug auf ältere Arbeitnehmer genutzt werden.

Schlagwörter:

Handmaschine, Arbeitsmittel, Alterseinfluss, Leistungsfähigkeit, Feinmotorik, Vibrationssensibilität, Greifkraft, Schwingung, Winkelschleifer, Akkuschauber, Hochdruckreiniger, Gefährdungsbeurteilung

Influences of Age-dependent Changes in Operators on the Safe Use of Manually Operated Machines

Abstract

The demographic change within the German labour market results in the increasing necessity of falling back on older employees in the course of the next decade. A number of – mainly physical and sensuous – abilities is subject to what experts call the “natural course of aging”. This means these abilities diminish – although frequently not to the extent that was often assumed in former times. Most important – as it applies to physical as well as mental processes – is the deceleration in physical and mental processes with increasing age. Furthermore, the diminishing abilities comprise the sensory functions such as hearing and eyesight. The physical forces and, thus, to a certain degree, the physical endurance and resilience also diminish already in the third decade and then especially fast in the fifth decade of life.

The correlation operator’s age and single stress on the operator has been sufficiently examined for many types of stress. However, multifactorial stress combinations are predominant at workplaces in reality.

Experimental surveys with hand-held and hand-guided work equipment under multifactorial stresses such as high coupling forces and vibrations were able to confirm age-dependent changes such as the decrease of grip forces, the decline of vibration sensibility and fine motor skills and the increase in response time. As an additional result of the multifactorial stress, it became visible that the stress on the older test subjects was partly higher (vibration sensibility). Test subjects were only male.

On the other hand, it appeared that about 50 % of the test subjects older than 55 years have a performance capacity that corresponds to that of the test subjects younger than 55 years to a large extent.

By means of a changed work organisation (break arrangement, shift work) and an ergonomically designed workplace, the process of demographic change can be compensated and older employees with limited performance capacity can be integrated into the work process as well. As a matter of course, a workplace with age-appropriate design also comprises correspondingly constructed and designed work equipment and work machines that are adapted to the work task and performance prerequisite of the human under consideration of their work biology (psychic, medical and physiological performance) and the work technology (technological work design). It is also necessary to develop the hazard assessment for older employees on workplaces.

Key words:

manually operated machine, work equipment, age influence, performance, fine motor skills, vibration sensibility, grip force, vibration, angle grinder, cordless electric screwdriver, pressure washer, risk assessment

Influences de changements dus à l'âge du personnel de manutention sur l'utilisation sûre de machines manuelles

Résumé

Sur le marché du travail allemand, le changement démographique va impliquer un recours de plus en plus fréquent à des personnes plus âgées au cours de la prochaine décennie. Une série de capacités – surtout physiques et sensorielles – est soumise à ce que les experts appellent „le vieillissement naturel“. Ce qui veut dire que ces capacités se réduisent – bien que fréquemment pas dans les proportions qui étaient estimées par le passé. Le plus important – car cela s'applique autant pour des procédés physiques que mentaux – est la baisse de rapidité dans des procédés corporels et mentaux avec l'âge. Les fonctions des sens comme l'ouïe ou la vue appartiennent également aux capacités en baisse. Les forces physiques et ainsi jusqu'à un certain niveau la résistance corporelle dans la durée et aux efforts des employés baissent également à partir de la trentaine, et plus particulièrement à partir de la cinquantaine.

Le rapport entre l'âge de l'utilisateur et la charge ponctuelle de l'opérateur a été approfondi suffisamment pour beaucoup de types de charges. Mais la réalité est que des combinaisons de charges multifactorielles prédominent sur les lieux de travail.

Des recherches expérimentales sur des outils de travail tenus et conduits à la main avec des charges multifactorielles comme par exemple avec de fortes forces de couple et vibrations ont pu confirmer un changement du à l'âge, comme par exemple la baisse de force de prise, la diminution de la sensibilité aux vibrations et de la motricité fine et l'augmentation du temps de réaction. Par ailleurs, une contrainte plus forte des personnes testées les plus âgées est en partie apparue par la charge multifactorielle (sensibilité à la vibration).

Il est apparu d'un autre côté qu'environ 50% des personnes testées de plus de 55 ans montrent une capacité de productivité qui correspond en grande partie à celle des moins de 55 ans.

Avec une organisation du travail modifiée (réglementation des pauses, travail par roulement) et un poste de travail adapté ergonomiquement, le processus de changement démographique peut être compensé et des employés plus âgés et plus restreints dans leur condition physique peuvent être intégrés au processus du travail. Un poste de travail adapté à l'âge doit évidemment également comporter des outils et machines de travail construits et organisés en conséquence et adaptés à la tâche et à la condition de la personne en tenant compte de sa biologie du travail (conditions psychique, médicale et physiologique) et de la technique de travail (organisation du travail technologique).

Mots clés:

machine manuelle, outil de travail, influence de l'âge, condition physique, motricité fine, sensibilité aux vibrations, force de prise en main, oscillation, meuleuse d'angle, visseuse sans fil, nettoyeur haute pression, l'évaluation des risques

1 Einleitung

Der demografische Wandel in der Bevölkerungsstruktur Deutschlands wird sich auch auf die Entwicklung des Arbeitsmarktes auswirken. Der Altersscheitelpunkt erhöht sich. Gegenwärtig ist die Hälfte der Bevölkerung über 40 Jahre alt, 2040 wird der Scheitelpunkt bei 50 Jahren liegen.

Es ist daher eine massive Zunahme der über 50-jährigen Erwerbstätigen ab 2010 zu erwarten, die ihren Höhepunkt um 2020 erreichen wird und erst danach wieder zurückgeht.

In allen Wirtschaftszweigen steigt dadurch das durchschnittliche Alter der Belegschaft an. Erstmals gibt es 2005 unter den Erwerbspersonen mehr über 50-Jährige als unter 30-Jährige. In 15 Jahren wird mehr als jeder dritte Erwerbstätige älter als 50 sein.

Es reift die Erkenntnis, dass die Lebensarbeitszeiten steigen müssen, damit die jetzigen sozialen Sicherungssysteme auch in der Zukunft funktionieren. Voraussetzung dafür ist jedoch, dass genügend Arbeitsplätze zur Verfügung stehen und dass die Bereitschaft auf Seiten der Unternehmen besteht (oder geweckt wird), offene Stellen auch mit älteren Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmern zu besetzen bzw. besetzen zu können.

Viele Studien haben sich aus arbeitsorganisatorischer, arbeitsmedizinischer sowie aus psychologischer Sicht mit den Fähigkeiten älterer Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer bzw. mit den Unterschieden zwischen älteren und jüngeren Arbeitnehmern befasst.

Ihr erstes wichtiges Resümee: Alter lässt sich nicht länger als statischer Zustand mit bestimmten, vorwiegend negativen Begleiterscheinungen betrachten. Vielmehr kann man Älterwerden als einen dynamischen, differenziert verlaufenden Wandlungsprozess begreifen, in welchem im Laufe des Lebens Fähigkeiten abnehmen, während sich Andere erst entwickeln. Dieser Prozess läuft bei jedem Menschen unterschiedlich ab.

Demnach verbieten sich pauschalisierende Aussagen über „die Älteren“ resp. „die Jungen“. Dennoch gibt es ein Muster von Eigenschaften und Fähigkeiten, die auf die verschiedenen Altersgruppen unterschiedlich verteilt sind bzw. die sich im Laufe eines (Arbeits-)Lebens verändern.

Der Wissensstand über altersbedingte Einschränkungen und die Reduzierung der Leistungsfähigkeit einzelner Sinne und Fähigkeiten ist umfangreich. Geringer ist jedoch der Wissensstand über den Einfluss kombinierter Belastungen. Bisher unzureichend erforscht ist ebenfalls die Umsetzung des Wissens der altersbedingten Einschränkungen von älteren Arbeitnehmern hin zu zielgerichteter Konzeption und Konstruktion von Handmaschinen. Eine wesentliche Frage dabei ist:

Wann wird z. B. ein bisher in der Anwendung allgemein als sicher anerkanntes Arbeitsmittel aus Altersgründen (abnehmende Fähigkeiten des Bedieners) für den Bediener unsicher?

Ziel dieses Projektes ist daher die Ermittlung des altersbedingten Einflusses auf die Anforderungen an die Konstruktion sicherer Arbeitsmittel bzw. Handmaschinen sowie das Aufzeigen von Lösungsansätzen.

2 Bedienung von Handmaschinen – relevante altersabhängige Einflussfaktoren

2.1 Vitalität und biologisches Funktionsalter

Nach HOFHECKER et al. (1979) ist die Vitalität der funktionelle Altersparameter des Menschen. Das *Vitalitätskonzept* beschreibt den Gesundheits- und Funktionszustand des Menschen aufgrund von altersabhängigen Messwerten.

Die Vitalität stellt die genetische und von Umwelterscheinungen beeinflusste Lebenskraft (Lebensfähigkeit) eines Organismus dar und äußert sich in Anpassungsfähigkeit an die Umwelt, Widerstandskraft gegen Krankheiten, körperlicher, mentaler, emotionaler sowie sozialer Leistungsfähigkeit.

Dabei prägen sich funktionelle Veränderungen bei Menschen unterschiedlich schnell aus. Beim Alter eines Menschen wird zwischen dem *biographischen* und dem *biologischen* Alter unterschieden. Das biographische Alter ist die geläufige zeitliche Altersangabe, die sich nach dem Geburtsdatum errechnet, z. B. ist jemand „65 Jahre alt“. Dagegen ist mit dem biologischen Alter der Zustand des Körpers gemeint, der normalerweise einem bestimmten Alter ungefähr entspricht.

Das *biologische Funktionsalter* beschreibt das tatsächliche Alter eines Menschen deutlich besser als das biographische bzw. das kalendarische oder chronologische und ist viel entscheidender. Damit wird jener Zustand des Gesamtorganismus bezeichnet, der für das jeweilige chronologische Alter charakteristisch ist und den funktionellen Zustand des jeweiligen Zeitabschnittes im individuellen Lebenslauf charakterisiert. Das biologische Funktionsalter bezeichnet das *vitale Alter* eines Menschen (SEIBT et al., 2004).

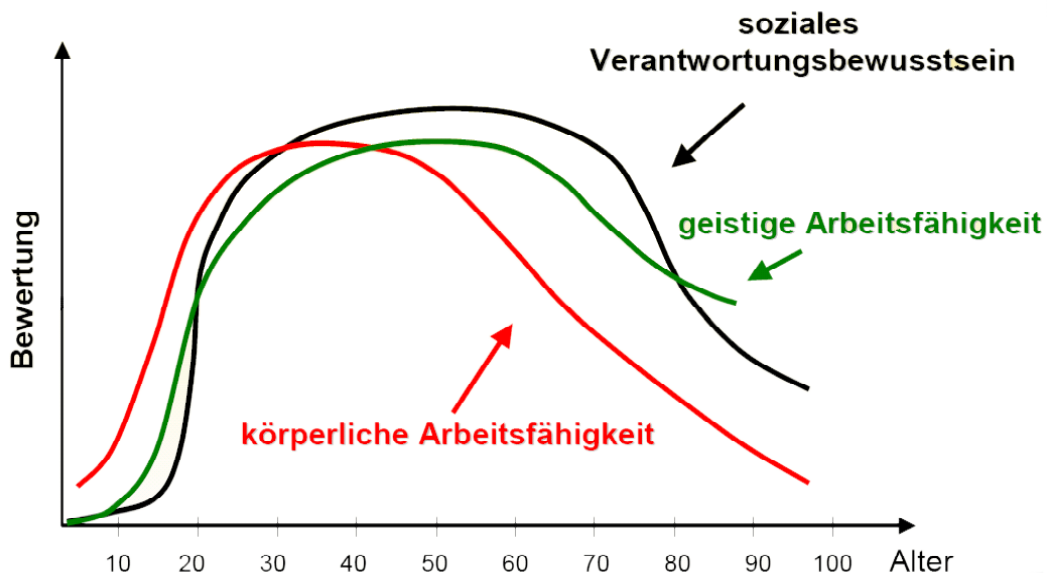


Abb. 2.1 Schematische Darstellung biologischer Alterskurven für verschiedene Funktionssysteme (Quelle: SEIBT et al., 2004)

Vitalität ist eine komplexe Zustandsgröße, die den biologischen Zustand phänomenologisch beschreibt. Es wird versucht mit verschiedenen Vitalitäts- oder Altersindikato-

ren aus unterschiedlichen Funktionssystemen die Vitalität eines Menschen zu bestimmen. Diese Indikatoren werden zunächst auf ihre Abhängigkeit vom chronologischen Alter geprüft und anhand ihrer Alterskorrelation und Bedeutung für die Funktion des Gesamtorganismus zu einem Modell des biologischen Alterns zusammengefasst (HOFECKER et al., 1979). Je nach dem wie stark die Altersindikatoren in den unterschiedlichen Funktionssystemen ausgeprägt sind (Abbildung 2.1), wird – unter Berücksichtigung ihrer Gesetzmäßigkeiten – auf das Verhalten des Gesamtsystems (die Vitalität) geschlossen (SEIBT et al., 2004).

Nach der von STREHLER (1977) begründeten *Universaltheorie des Alterns* vollzieht sich der Alterungsprozesse auf allen Integrationsebenen. Altern läuft danach sowohl zwischen Parametern gleicher als auch unterschiedlicher Integrationsebenen asynchron ab, was zu einer hohen inter- und intraindividuellen Variabilität führt. Diese „Heterochronizität“ spiegelt sich innerhalb der Vitalitätsindikatoren wider. Nach HOF-ECKER et al. (1981) vergrößert sich die Variabilität, je niedriger das Integrationsniveau ist. Demnach ist eine zuverlässige Beurteilung der Vitalität nur auf hohem organisatorischem Integrationsniveau möglich.

Die *epigenetischen* Faktoren (z. B. Adaptation, Umwelt) wirken sich neben *genetischen* Dispositionen, kalendarischem Alter und Geschlecht ebenfalls auf die Vitalität aus, d. h. das individuelle Alternstempo, die biologische Eigenzeit, kann sehr verschieden sein. Bei normal alternden Personen entspricht die Vitalität ihrem kalendarischen Alter. Im Einzelfall können kalendarisches und biologisches Alter aber erheblich voneinander abweichen: es gibt *junge Alte*, aber auch *alte Junge*, wobei eine deutliche Zunahme der *alten Jungen* zu verzeichnen ist (SEIBT et al., 2004).

2.2 Mentale Funktionen

2.2.1 Gedächtnisleistung

Entsprechend den Forschungsergebnissen von FLEISCHMANN (1989) wird hierbei ein Primärgedächtnisfaktor von einem Sekundärgedächtnisfaktor

unterschieden. Diese beiden Bereiche gelten als unabhängig voneinander. Mit dem Primärgedächtnisfaktor werden eher passive Gedächtnisleistungen umschrieben. Dies bedeutet, dass Gedächtnisinhalte kurzfristig (über einige Sekunden hinweg) ohne tiefer gehende Verarbeitung behalten werden können.

Mit dem Bereich des Sekundärgedächtnisses werden jene Gedächtnisleistungen umschrieben, die ein aktives Verarbeiten von Informationen beinhalten. Dies bedeutet beispielsweise Memorieren, Verknüpfen mit bereits bestehenden Gedächtnisinhalten oder „inneres“ Wiederholen von Informationen. Damit wird ein längerfristiges Behalten erreicht.

Dieses zweifaktorielle Modell kann als altersstabil gelten, d. h. die beiden Gedächtnisdimensionen lassen sich bis ins hohe Lebensalter als unabhängig voneinander unterscheiden. Dies trifft für die Leistungsfähigkeit bei gesunden, alten Menschen zu. Im Rahmen pathologischer Entwicklungen (z. B. Demenz vom Alzheimer-Typ) lässt sich im Sinne einer „Verschmelzung“ der unterschiedlichen Leistungsbereiche nur noch eine einzige Leistungsdimension erkennen.

Die Leistungsfähigkeit des Sekundärgedächtnisses ist verbunden mit kognitiven „speed“-Leistungen. Dies bedeutet, dass die aktive Verarbeitung von Gedächtnisinhalten nicht unabhängig vom Tempofaktor angesehen werden kann, sondern auch eine Funktion der Geschwindigkeit der Informationsverarbeitung ist. Damit treten Veränderungen des Gedächtnisses im Alter zunächst deutlich im Bereich der aktiven Aneignung von Gedächtnisinhalten auf. Mit zunehmendem Alter trifft dies allerdings auch für Primärgedächtnisleistungen zu (OSWALD und GUNZELMANN, 1991).

Bei der kognitiven Leistungsfähigkeit geht man zum Teil noch heute von der so genannten Defizithypothese aus, die besagt, dass bereits mit Beginn des 30. Lebensjahres ein Abbau intellektueller Fähigkeiten zu beobachten wäre. Übersehen wurde dabei, dass sich in den Altersdifferenzen der Intelligenz Generationsunterschiede und historische Umstände widerspiegeln. Heute unterscheidet man kristalline und fluide Intelligenz (SEIBT et al., 2004).

In der Arbeitswelt vollzieht sich durch Computerisierung, Automatisierung und Informationsflut ein Wandel, der immer mehr geistige Leistungsfähigkeit, Flexibilität und Kreativität fordert und der an Bedeutung gewinnt (AHREND, 1995).

In der Forschung zur geistigen Leistungsfähigkeit des älteren Menschen und Arbeitnehmers sprechen die Ergebnisse eindeutig gegen einen naturgegebenen, zwangsläufigen Leistungsabfall, wie er im so genannten „Defizitmodell“ angenommen wird. RUDINGER (1971) schätzt bei einer varianzanalytischen Studie den Einfluss des Alters auf die geistigen Fähigkeiten auf ca. 5 %.

Insbesondere Längsschnittuntersuchungen wie die *Seattle Longitudinal Study*, die *Bonner Gerontologische Längsschnittstudie* und die *Bethesda-Studie* dienen der Aufklärung des Einflussfaktors Alter gegenüber kohortengebundenen Einflussfaktoren. So konnte nachgewiesen werden, dass sich eine signifikante Abnahme der Testleistung in höheren Altersgruppen nur bei einer Querschnittsanalyse zeigt. Bei Längsschnittanalysen hingegen war eine Abnahme der geistigen Leistungsfähigkeit in nur geringem Ausmaß erkennbar; sie kam zudem erst im hohen Alter (8./9. Lebensjahrzehnt) zum Tragen (AHREND, 1995).

Weiterhin sind überwiegend nur einzelne geistige Bereiche von einem Abbau betroffen. Dies sind insbesondere die geschwindigkeitsabhängigen Intelligenzbereiche, wie beispielsweise Auffassungsgeschwindigkeit oder Kombinationsfähigkeit, die auch flüssige Intelligenz genannt werden. Dagegen zeigen die Bereiche, die eher das Allgemein- und Erfahrungswissen, das Wort- und Sprachverständnis betreffen (kristallisierte Intelligenz), im Alter keinen Abbau, sondern eher eine Zunahme an geistiger Leistung (siehe Abbildung 2.2) (AHREND, 1995).

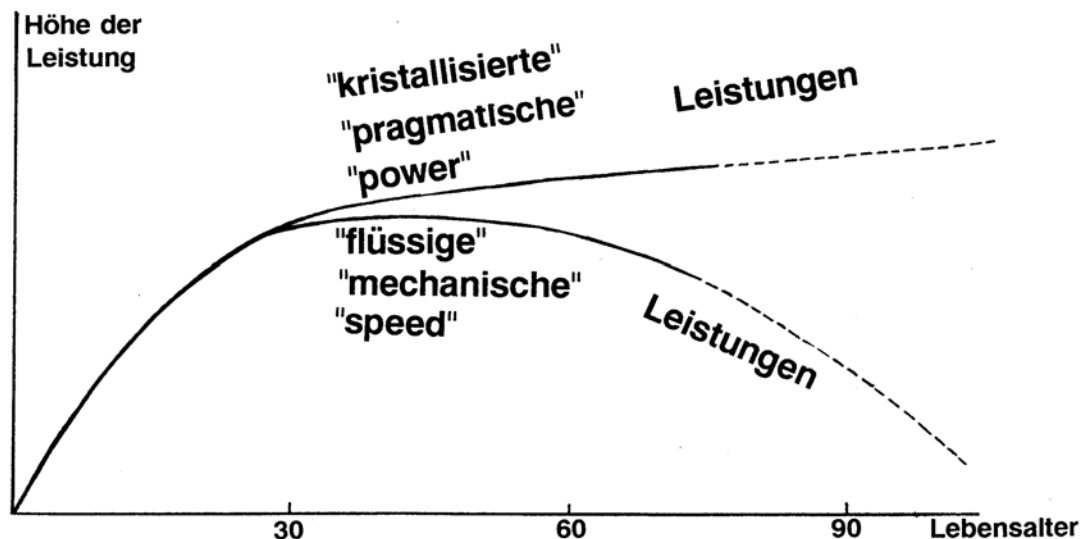


Abb. 2.2 Dedifferenzierung psychischer Funktionen mit dem Alter
(Quelle: OSWALD und GUNZELMANN, 1991)

2.2.2 Nervensystem

Die Anzahl der Synapsen nimmt mit dem Alter im Allgemeinen ab. Jedoch besteht eine große interindividuelle Variabilität.

Sind keine entsprechenden pathologischen Prozesse nachweisbar, so ist die geistige Leistungsfähigkeit weitgehend unbeeinträchtigt.

Das periphere Nervensystem zeigt eine Verlangsamung der Nervenleitgeschwindigkeit, insbesondere im Alter über 50 Jahren (AHREND, 1995).

2.3 Psychomotorische Fähigkeiten

Mit psychomotorischen Fähigkeiten werden jene erworbenen Verhaltensmuster von völlig aufeinander abgestimmten koordinierten willentlichen Bewegungen, die auf einen bestimmten Stimulus hin erfolgen, bezeichnet (LEHR, 1991). Grundlegende Voraussetzungen hierzu sind

- sensorische Leistungen (Signale erkennen)
- kognitive Leistungen (Entscheidungen treffen) und
- motorische Leistungen (Reaktion zeigen).

Gütekriterien sind hierbei die benötigte Zeit und die Fehlerhäufigkeit.

In den einschlägigen Testungen schneiden ältere Menschen im Durchschnitt schlechter ab als jüngere. Die besten Ergebnisse werden im Alter von 20 bis 25 Jahren beobachtet (AHREND, 1995).

Bei der Beurteilung der Leistungen ist jedoch eine differenzierte Betrachtungsweise angebracht. Es tritt einerseits eine Verlangsamung in der Psychomotorik im höheren Alter auf. Eine erhöhte Fehlerzahl findet sich dagegen nicht. Mit der entsprechenden Verlangsamung im Alter wird zum Teil sogar eine geringere Fehlerhäufigkeit erreicht. Zudem zeigen die Testergebnisse mit höherem Alter weiterhin eine höhere interindividuelle Varianz auf. Auch wird eine Vielzahl von altersunabhängigen Variablen, die

bei der Beurteilung psychomotorischer Leistungen Beachtung finden müssen, beschrieben.

2.3.1 Reaktionszeit

Ein Vorsignal, ähnlich dem Gelb-Signal zwischen der Rot-Grün-Schaltung einer Ampel, das die Auslösung einer gewissen Erwartungshaltung bewirkt, kann bei älteren die Reaktionszeit verkürzen, während beim jüngeren Menschen ein entsprechender Effekt weniger zu beobachten ist. Es hat sich gezeigt, dass hier beispielsweise dem Zeitintervall zwischen Vor- und Hauptsignal und dem Sinneskanal, über den die Signale geboten werden, besondere Bedeutung zukommt. In Abbildung 2.3 ist die Reaktionsgeschwindigkeit auf akustische und optische Reize dargestellt.

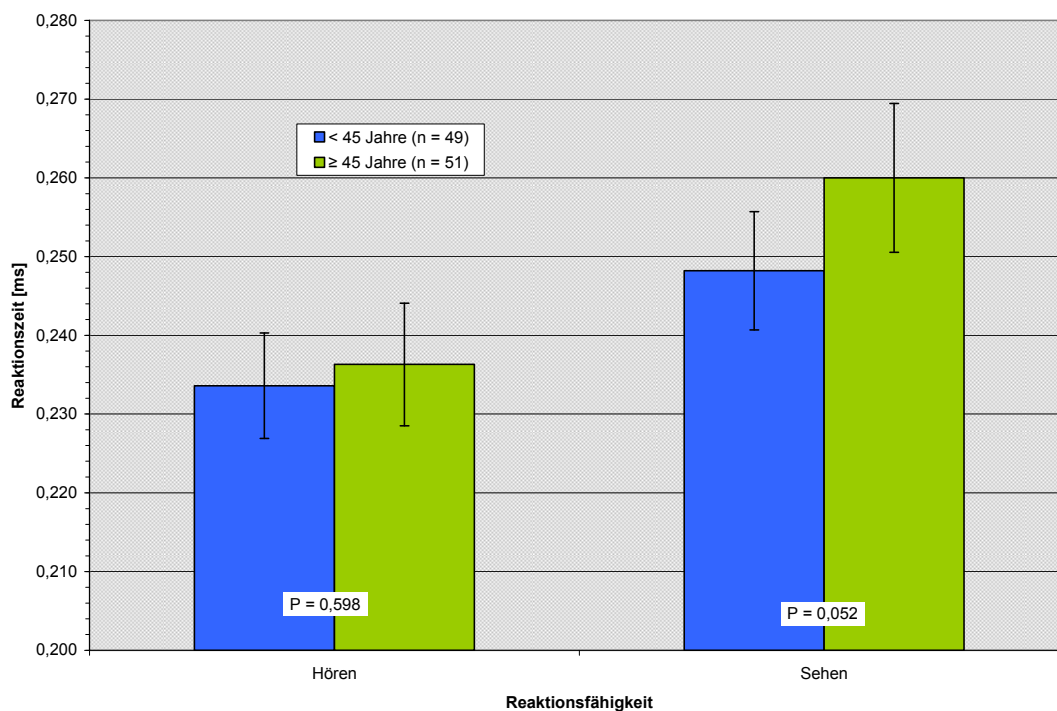


Abb. 2.3 Reaktionszeit für Lehrer in zwei Altersgruppen
(Quelle: SEIBT et al., 2004)

Die Reaktionszeit ist bei Personen bis 45 Jahre tendenziell schneller als bei Personen über 45 Jahre. In WOODSON et al (1992) sind altersabhängige Reaktionszeiten für Männer und Frauen aufgeführt (in Abbildung 2.4 sind nur Männer dargestellt). Auch hier ist erkennbar, dass die Reaktionszeit vom Reiz- bzw. Sinneskanal abhängig ist (siehe auch BIRREN et al., 1991 und VERCRUYSEN et al., 1997).

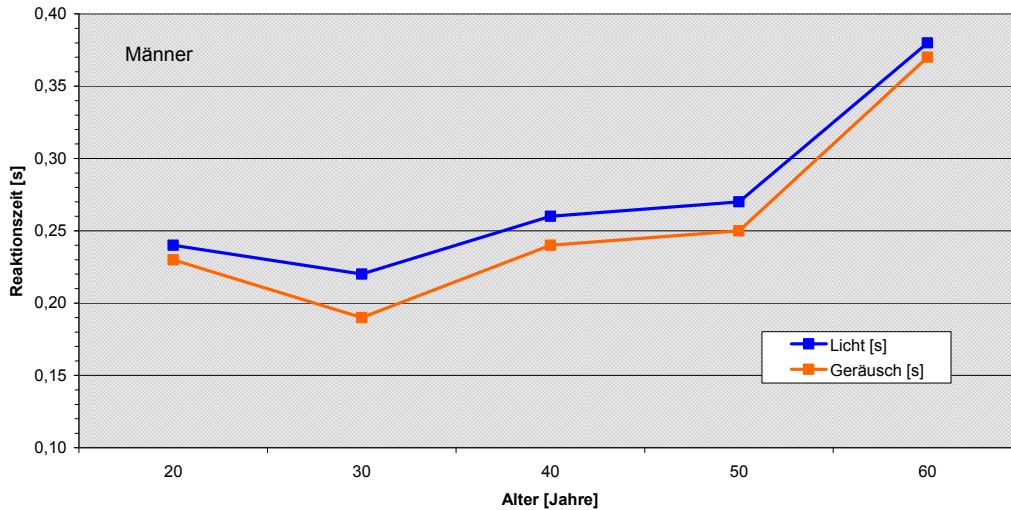


Abb. 2.4 Altersabhängige Reaktionszeit bei unterschiedlichem Reiz (Quelle: WOODSON et al., 1992)

THOMAE und LEHR (1977) unterscheiden innerhalb der Reaktionszeit zwischen *prämotorischer* und *motorischer* Zeit. Als prämotorische Zeit wird die Zeitspanne vom Erscheinen eines Signals bis zum Beginn der dadurch ausgelösten Bewegung bezeichnet. Die motorische Zeit bezeichnet die Zeit, die für die Ausführung der Bewegung benötigt wird. Während sich die prämotorische Zeit mit Zunahme des Alters verlängert, ändert sich die motorische Zeit im Alter nicht.

Nach WOODS (1981) hat die physiologische Leistungsfähigkeit einen sehr großen Einfluss auf die Reaktionszeit. Er unterscheidet zwischen „Young-Fit“, „Young-Unfit“, „Old-Fit“ und „Old-Unfit“ und zeigt auf, dass die Reaktionszeit zwischen diesen vier Gruppen signifikant unterschiedlich ist (Abbildung 2.5).

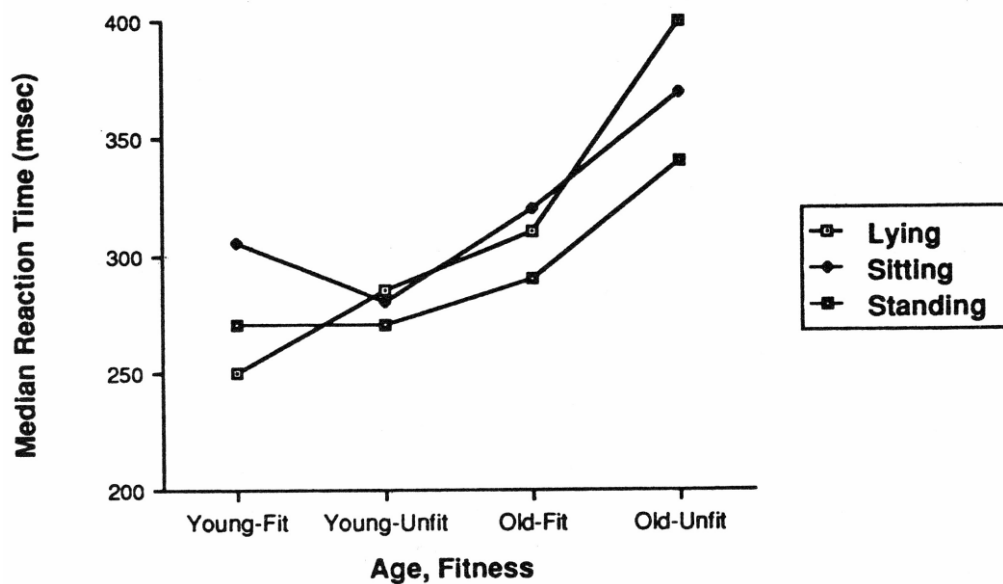


Abb. 2.5 Mittlere Reaktionszeit in Abhängigkeit vom Alter, der Leistungsfähigkeit und der Körperhaltung (Quelle: WOODS, 1981)

Die Art des Informationsangebots und die Komplexität der Aufgaben sind weitere Faktoren, die Leistungsdifferenzen bei verschiedenen Altersgruppen bewirken. So haben Ältere zunehmend Schwierigkeiten bei komplexen Aufgaben. Bei einfachen Vigilanz-Untersuchungen und Signalwahrnehmungsaufgaben sowie bei Überwachungsaufgaben zeigten sich keine wesentlichen Altersunterschiede (AHREND, 1995).

2.4 Körperliche Funktionen

2.4.1 Pulsfrequenz und Blutdruck

Vielseitige Veränderungen am Herzen im Alter führen zur Minderung der kardiovaskulären Leistungs- und Anpassungsfähigkeit.

Funktionell zeigen sich die Veränderungen vor allem in der

- Verlängerung der Kontraktionszeit, insbesondere der Austreibungszeit,
- Reduktion der Frequenzsteigerung,
- Reduktion des Herzschlag- und Minutenvolumens beider Ventrikel,
- Stabilisierung der Herzfrequenzvariabilität,
- Zunahme der arteriovenösen Sauerstoffdifferenz.

Es ist umstritten, inwieweit einzelne Veränderungen tatsächlich primär altersabhängig oder aber pathologischen Prozessen zuzuschreiben sind. Durch ein geeignetes Training lässt sich den Altersveränderungen am Herzen entgegenwirken. Dies wird auch über das Schlagvolumen erreicht; aber zunehmend wird die Kompensation über eine Frequenzanhebung nötig. Dieser Wechsel von Volumen- zu Druckarbeiten des Herzens führt jedoch zu einer schlechteren Ökonomie des myokardialen Sauerstoffverbrauchs.

Folgen der Veränderungen an den Gefäßen sind unter anderem die Erhöhung des Blutdrucks und der Pulswellengeschwindigkeit. So wird beobachtet, dass der systolische Blutdruck im Alter ansteigt. Der diastolische Druck nimmt nur bis zum 60. Lebensjahr zu, um danach wieder leicht abzufallen. Es ist jedoch weitgehend unklar, inwieweit die beschriebenen Veränderungen physiologisch oder pathologisch einzuordnen sind. Obwohl dem Herz-Kreislaufsystem für die allgemeine körperliche Leistungsfähigkeit des älteren Arbeitnehmers eine zentrale Bedeutung zukommt, muss eine Minderung der körperlichen Leistungsfähigkeit durch die physiologischen Altersveränderungen am Herzen dennoch nicht zwingend sein (AHREND, 1995, SPIRO-DUSO et al., 2005).

Bei der kardiovaskulären Leistungsfähigkeit lassen sich die bekannten altersabhängigen Veränderungen feststellen (Tabelle 2.1).

Tab. 2.1 Altersabhängige kardiovaskuläre Leistungsfähigkeit bei Lehrern
(Quelle: SEIBT et al., 2004)

Kardiovaskuläre Parameter	Altersgruppen		p-Wert
	< 45 Jahre (n = 49)	≥ 45 Jahre (n = 51)	
Blutdruck: systolisch [mmHg]	119,9 ± 13,0	129,9 ± 15,9	0,001
Blutdruck: diastolisch [mmHg]	78,0 ± 9,1	83,2 ± 7,8	0,003
Ruhepuls [1/min]	75,1 ± 11,4	72,9 ± 9,7	0,269
Belastungspuls [1/min]	126,8 ± 16,2	118,0 ± 16,7	0,009

Die jüngere Lehrergruppe weist im Durchschnitt eine höhere körperliche Funktionsfähigkeit auf. Der durchschnittliche Blutdruck liegt in beiden Altersgruppen zunächst im Normalbereich. Die Standardabweichungen weisen aber darauf hin, dass besonders in der älteren Gruppe ein Teil der Lehrer erhöhte Blutdruckwerte (Hypertonie) haben (130/83 +/- 16/8 mmHg).

Die maximale Pulsfrequenz in Abhängigkeit vom Alter lässt sich mit Hilfe der von BUBB (2003) veröffentlichten Grafik (Abbildung 2.6) ermitteln.

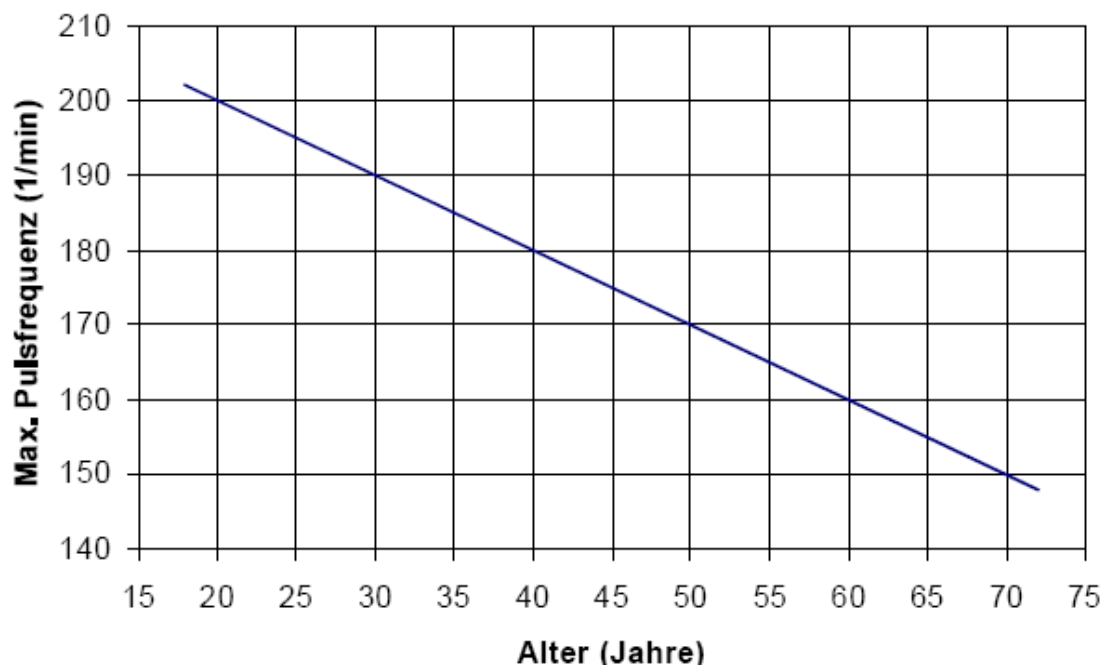


Abb. 2.6 Maximale Pulsfrequenz in Abhängigkeit vom Alter
($PF_{\max} = 220 - \text{Alter (J)}$)

Zur Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit und insbesondere der Ausdauerleistungsfähigkeit wird die maximale Sauerstoffaufnahme ($V_{O2\max}$) als Maß der gesamten kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit häufig herangezogen. Sie fällt mit zunehmendem Alter ab. Allerdings lässt sie sich auch in höherem Alter durch körperliches Training steigern (LANG, 1991 und ROST, 1991) (Abbildung 2.7).

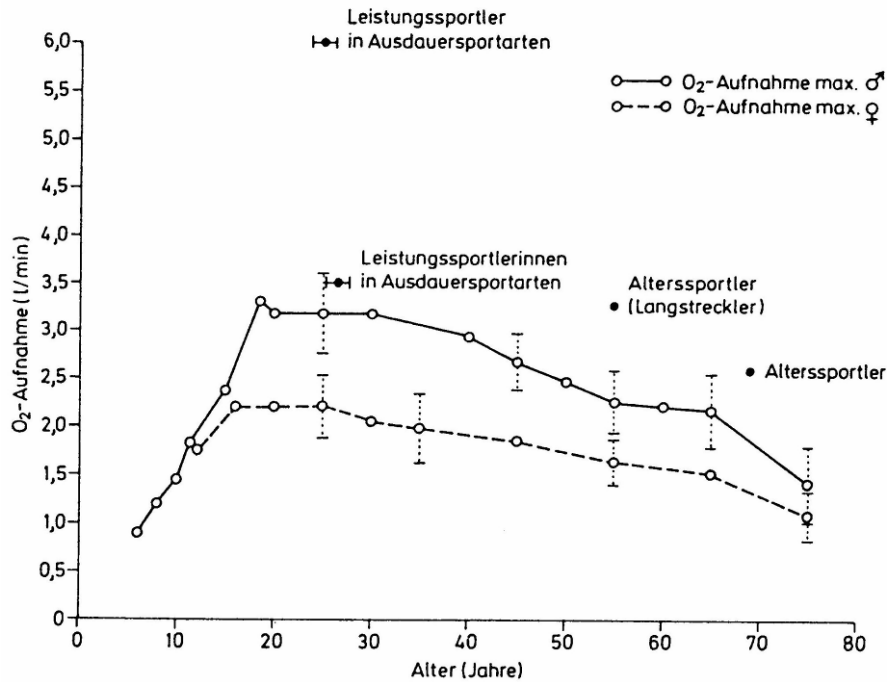


Abb. 2.7 Maximale Sauerstoffaufnahme in Minuten im Laufe des Lebens bei männlichen und weiblichen Personen (n = 2.834) (Quelle: ROST, 1991)

JESCHKE et al. haben 1980 Belastungsuntersuchungen am Fahrradergometer durchgeführt. In Abbildung 2.8 sind die Ergebnisse in Abhängigkeit der maximalen Wattleistung, die in 4 Minuten mit dem Fahrradergometer geleistet wurde, vom Körpergewicht und Alter dargestellt. Auch hier ist eine deutliche Altersabhängigkeit besonders nach dem 40. Lebensjahr erkennbar.

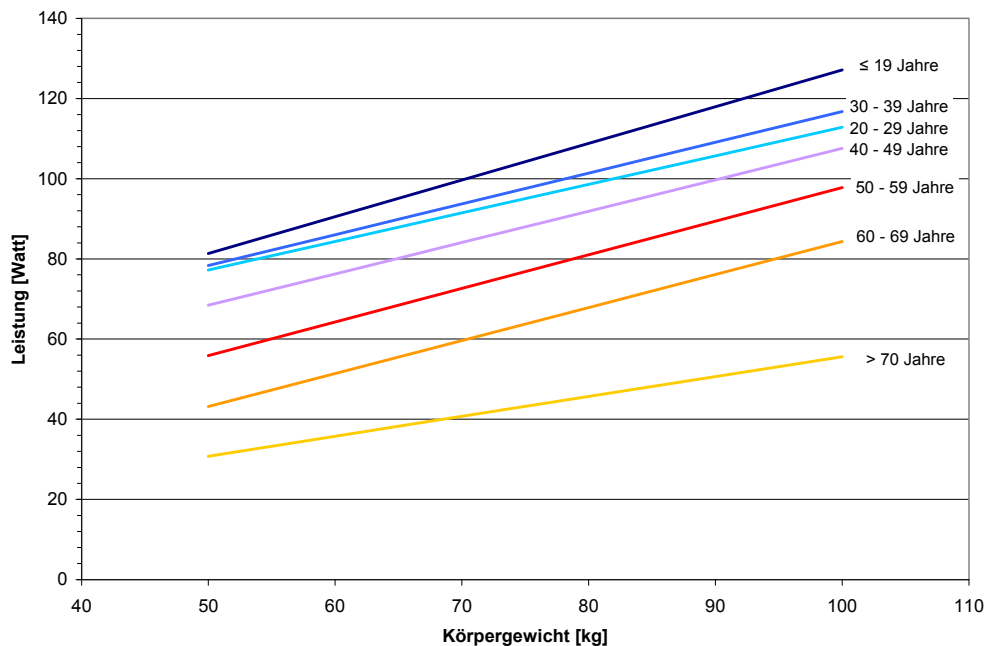


Abb. 2.8 Abhängigkeit der maximalen Wattleistung, die in 4 Minuten mit dem Fahrradergometer geleistet wurde, vom Körpergewicht und Alter (Quelle: JESCHKE et al., 1980)

Weitere Faktoren wie Bildung, Beruf, sozialer Status, Übergewicht und Geschlecht zeigen ebenso statistische Korrelationen mit V_{O_2MAX} . Somit scheint das Alter nur ein Einflussfaktor unter vielen zu sein (AHREND, 1995).

2.4.2 Körperkraft

Der Bewegungsapparat wird relativ früh von Veränderungen betroffen. Die Skelettmuskulatur zeigt Abnahmen der Muskelmasse, der aktiven Motoreinheiten, des intramuskulären Mitochondrienvolumens, des Myoglobin- und Glykogengehalts, des Kalium-, Kalzium- und Stickstoffgehalts. Weiterhin wird die Minderung aerober und anaerober Enzyme im Alter beschrieben. Dagegen findet sich eine Zunahme der Trockensubstanz und der Fetteinlagerungen (AHREND, 1995).

Die maximale Muskelkraft besteht um das 30. Lebensjahr; danach nimmt sie ab (Abbildung 2.9).

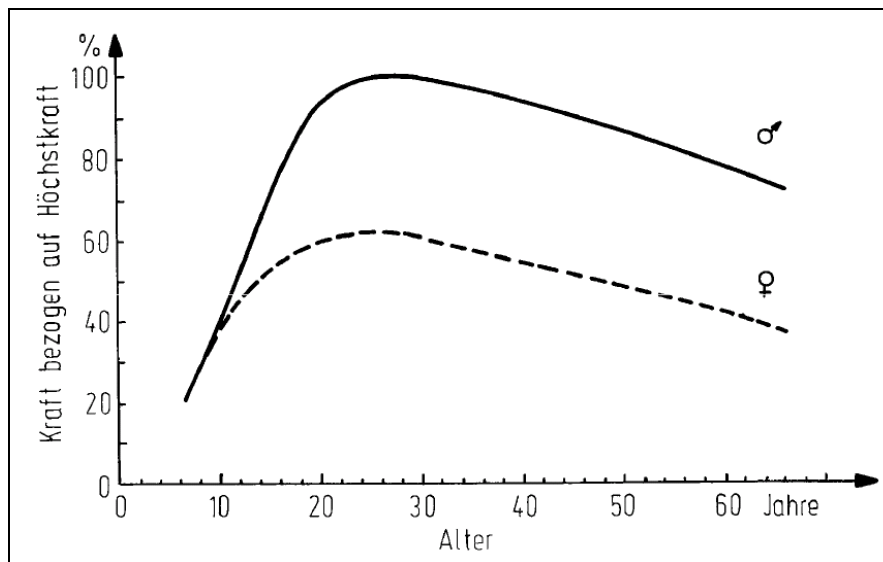


Abb. 2.9 Alters- und geschlechtsabhängige Maximalkraft (Quelle: ULMER, 1985)

Von den motorischen Fähigkeiten ist die Schnelligkeit am stärksten beeinträchtigt (Abbildung 2.10). Ursache hierfür sind vor allem die verstärkte Abnahme der weißen Muskelfasern gegenüber den roten und die nachlassende Stimulation der Muskelfasern.

Die Ausdauer-, Kraft- und Koordinationsfähigkeit unterliegen dagegen weniger einer altersabhängigen Reduktion.

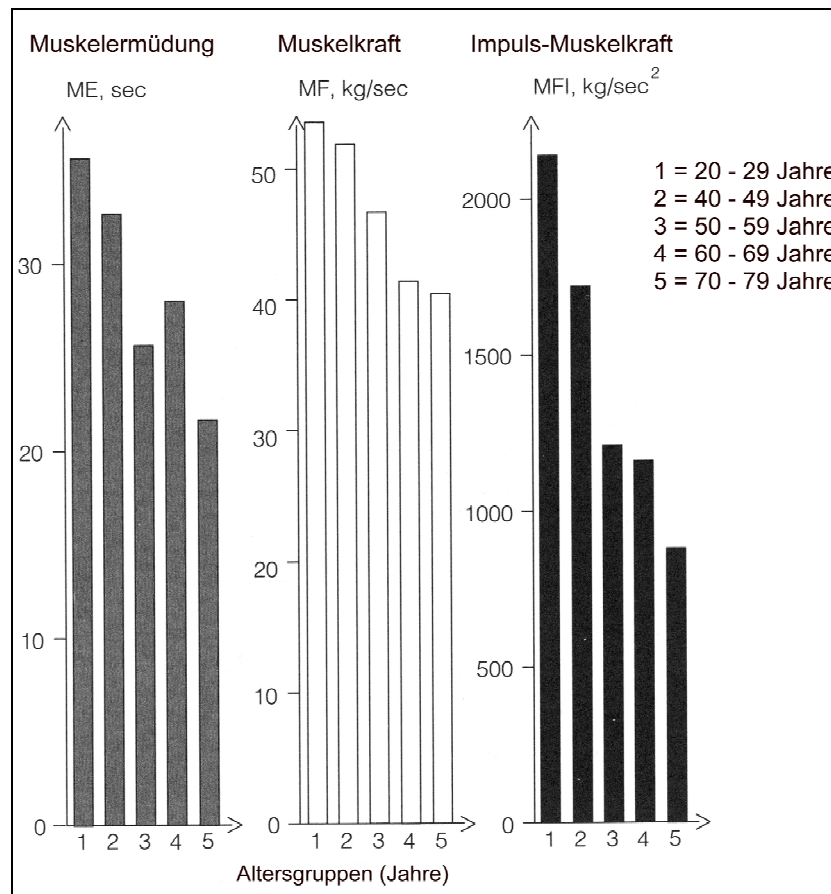


Abb. 2.10 Muskelparameter für unterschiedliche Altersgruppen
(Quelle: POLJAKOV, 1991)

Es bestehen jedoch große interindividuelle Unterschiede. Bei gesunden, körperlich aktiven Menschen tritt der Abbau der Muskelkraft erst spät ein und ist stark vom Trainingszustand abhängig.

Sicher ist, dass körperliche Aktivität und Training auch im Alter dem Substanzverlust am Knochen entgegenwirken und den Stoffwechsel von Knorpel, Sehnen und Bändern verbessern. Insbesondere ein Krafttraining mit hohen Druckwerten im Knochen scheint gegen den Alterungsprozess im Knochen zu wirken.

2.4.3 Bewegungsfähigkeit

An der Wirbelsäule kommt es zu Veränderungen der Form und Beweglichkeit. Dabei verändert sich sowohl die statische als auch die dynamische Belastbarkeit. Bei degenerativen und belastungsbedingten Wirbelsäulenerkrankungen kommt es im Alter zu Spontanverfestigungen, mit Teilversteifungen der Wirbelsäule (AHREND, 1995).

2.4.4 Feinmotorik

Berufliche Übung kann die feinmotorischen Fähigkeiten aufrechterhalten. So bleiben bei Berufsgruppen, die hohe Anforderungen an die Feinmotorik stellen, die Leistungen innerhalb eines 4-jährigen Beobachtungszeitraumes weitgehend konstant, wogegen ein Leistungsabfall im Beobachtungszeitraum bei anderen Personengruppen eintrat (AHREND, 1995).

KALISCH et al. (2006) fanden bei einer Untersuchung von 96 rechtshändigen Männern und Frauen im Alter von 20 bis 90 Jahren heraus, dass mit fortschreitendem Alter sich die Leistungen der rechten und der linken Hand offenbar nach und nach angleichen. Konkret konnte das deutsche Forscher-Team zeigen, dass ältere rechtshändige Versuchspersonen die nicht-dominante linke Hand häufiger im Alltag benutzen als junge Versuchspersonen das tun.

"Diese Entwicklung konnte auf einen stärkeren altersbedingten feinmotorischen Leistungsverlust der rechten Hand zurückgeführt werden", analysiert Kalisch. Dieser werde quasi ausgeglichen, indem unbewusst die linke Hand verstärkt zum Einsatz komme. In der Untersuchung hatten die Forscher Befragungen mit mehreren praktischen Tests (Motorische Leistungsserie: Dr. G. Schuhfried GmbH, Austria) zur Feinmotorik der Teilnehmer kombiniert (Abbildung 2.11).

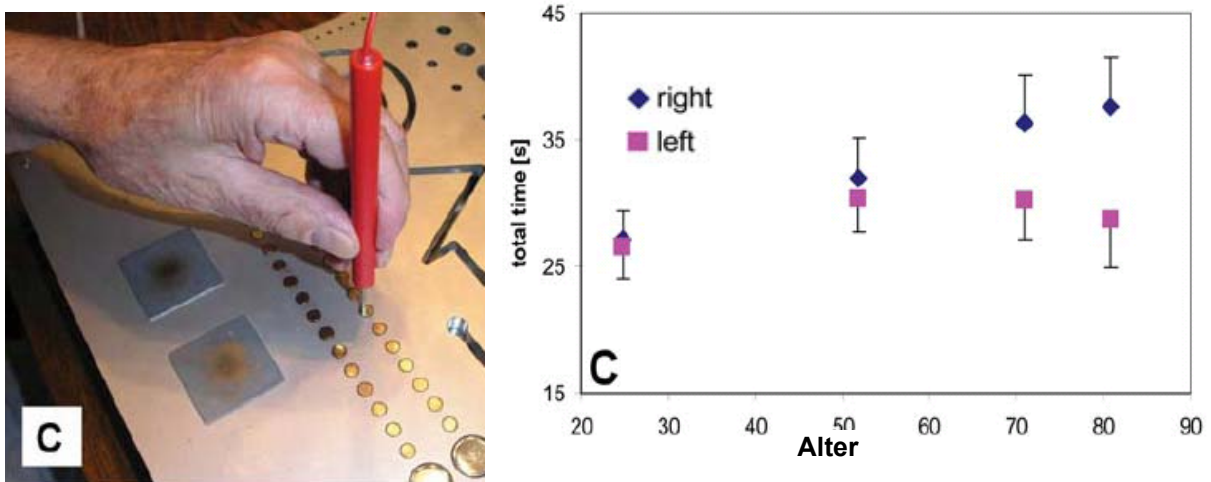


Abb. 2.11 Untersuchung des altersbedingten feinmotorischen Leistungsverlustes der rechten (Raute) und der linken Hand (Quadrat) (Quelle: KALISCH et al., 2006)

DESAI et al. (2006) konnten in ihrer Untersuchung mit dem Purdue-Steckbrett nachweisen, dass ältere Personen beim Zusammenstecken von kleinen Bauteilen (Baugruppe) mit beiden Händen signifikant schlechter sind als Jüngere (Abbildung 2.12).

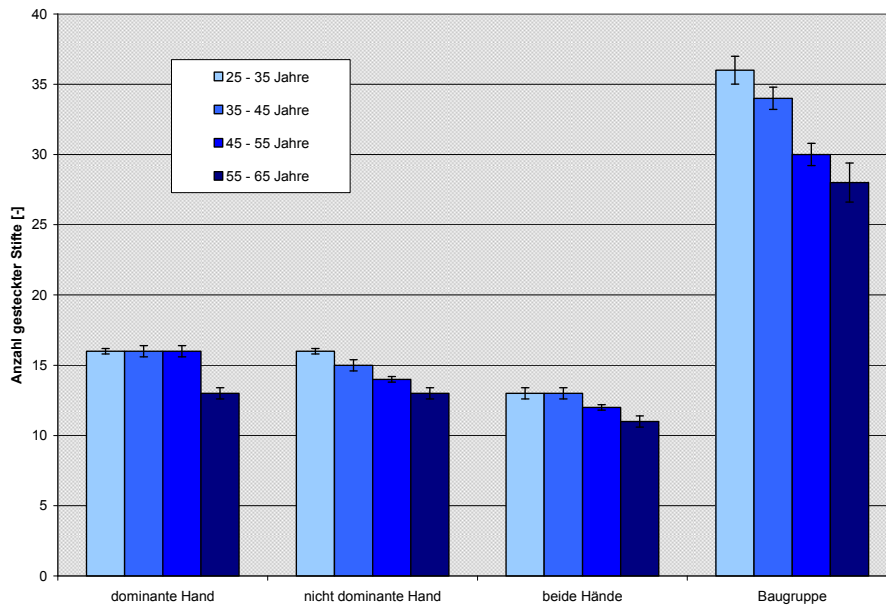


Abb. 2.12 Feinmotorische Leistungsfähigkeit in Abhängigkeit vom Alter (Quelle: DESAI et al., 2006)

2.4.5 Haut

Die Haut zeigt typische und für jeden offensichtliche Altersveränderungen. Sie wird schlaff, faltenreich, weniger weich und weniger elastisch. Parameter, die die Viskosität und die Reißfestigkeit kennzeichnen, haben im frühen Erwachsenenalter ihren Höhepunkt, um dann langsam und gering zu fallen. Die Epidermis wird mit zunehmendem Alter dünner, die elastischen Fasernetze werden reduziert.

Ob und gegebenenfalls welche praktische Bedeutung die altersbedingten Veränderungen in den unterschiedlichen, die Haut stark belastenden Berufszweigen haben, findet in der Literatur keine eindeutige Antwort.

Zu den Veränderungen von Dichte und Aktivität der Schweißdrüsen in der Haut im Alter liegen unterschiedliche Ergebnisse vor. Es ist nahe liegend, dass deren Funktion insbesondere für die Arbeit bei Hitzeeinwirkung Bedeutung besitzt.

Der Wechsel klimatischer Einflüsse (Hitze, Kälte, Feuchtigkeit) wurde von finnischen älteren Arbeitnehmern als besonders belastend empfunden.

Eine Reihe von Arbeiten deutet darauf hin, dass Hitzearbeit von älteren Arbeitnehmern nicht so gut toleriert wird wie von jüngeren Arbeitnehmern und körperliche Störungen häufiger und stärker als bei jüngeren auftreten. Die Schweißproduktion setzt beim älteren Menschen bei Hitzeexposition vergleichsweise spät ein. Die Herzfrequenz, die Haut- und Körperkerntemperatur steigen stärker als bei jüngeren Arbeitnehmern an. Bei extremen Hitzearbeiten, wie sie bei Arbeiten in südafrikanischen Goldminen vorkommen, haben ältere Arbeitnehmer ein erhöhtes Risiko, einen Hitzschlag zu erleiden. Hitzearbeit führt zudem, wenn sie über längere Zeiträume erfolgt, möglicherweise zur Beschleunigung des biologischen und kardiopulmonalen Alterungsprozesses, wobei das Alter, in dem mit der entsprechenden Arbeit begonnen wurde, wesentlich für die Progression scheint. Es liegen jedoch auch neuere Untersuchungen vor, die nicht eindeutig für eine Altersabhängigkeit der Hitzetoleranz sprechen. So konnte beispielsweise bei akklimatisierten, trainierten, gesunden ältere-

ren Menschen die gleiche Hitzetoleranz und Thermoregulationsantwort nachgewiesen werden wie bei jüngeren untrainierten Menschen (AHREND, 1995).

2.5 Sinnesorgane

2.5.1 Sehfähigkeit

Die Altersveränderungen im optischen Bereich sind gut untersucht. Zu den vielseitigen Änderungen, die unter dem Begriff Presbyopie oder Alterssichtigkeit subsumiert werden, zählen vor allem die Akkomodationsschwäche (Abb. 2.13) durch die Elastizitätsveränderungen der Linse, die Beeinträchtigung der Hell-Dunkel-Adaptation und die gelbliche Verfärbung der Hornhaut mit verminderter Transparenz. Hieraus resultieren insbesondere eine verminderte Sehfähigkeit in der Nähe, die Notwendigkeit einer höheren Leuchtdichte bzw. Beleuchtungsstärke und des Kontrastes, eine erhöhte Blendungsgefahr (Abb. 2.14) durch Streulicht und eine geringe Abnahme der Farbsehfähigkeit, insbesondere im kurzwelligen Bereich (AHREND, 1995, WOODSON, 1992).

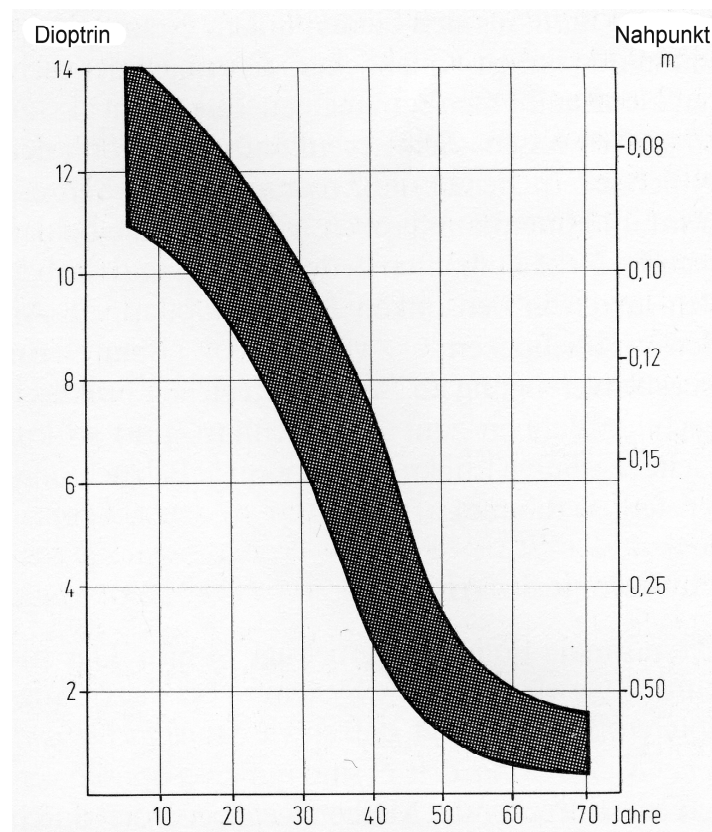


Abb. 2.13 Abnahme der Akkomodationskraft mit steigendem Lebensalter (Quelle: SCHMIDTKE, 1981)

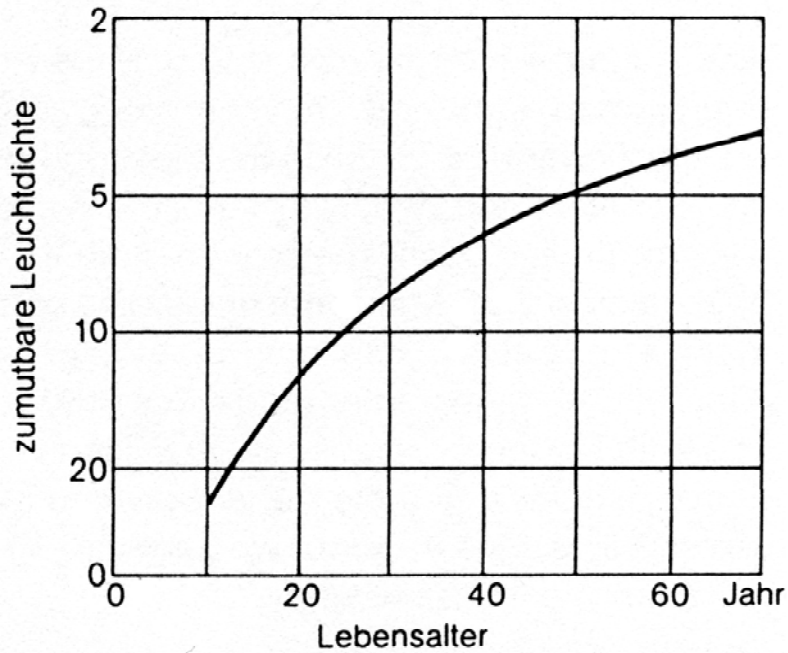


Abb. 2.14 Zunahme der Blendempfindlichkeit mit steigendem Alter
(Quelle: GRANDJEAN, 1991)

2.5.2 Hörfähigkeit

Die Altersveränderungen des akustischen Sinneskanals haben im Berufsleben kausal neben der Lärmschwerhörigkeit Bedeutung (Abbildung 2.15). Dabei ist jedoch die Unterscheidung derjenigen Veränderungen, die ursächlich altersbedingt sind, von jenen, die aus der lebenslangen exogenen Exposition resultieren, umstritten. Es liegen Untersuchungen vor, die eine Schwerhörigkeit vorwiegend bei Industrienationen nachweisen, nicht jedoch bei bestimmten Naturvölkern. Diese interkulturellen und auch große interindividuelle Differenzen der Hörfähigkeit der älteren Menschen weisen auf die Fragwürdigkeit eines naturgegebenen Hörverlustes im Alter hin (AHREND, 1995).

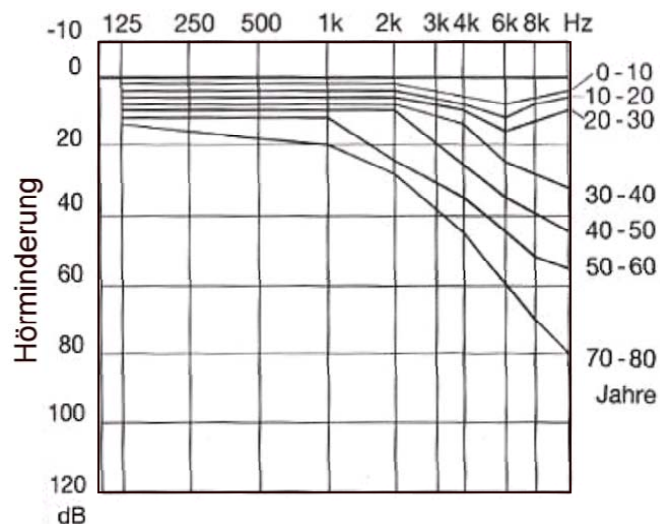


Abb. 2.15 Hörminderung in Abhängigkeit vom Alter

Sicher ist, dass Lärm das Gehör in jedem Alter schädigen kann. Es wird allgemein angenommen, dass der ältere Arbeitnehmer durch Lärm eher gestört wird als der jüngere Arbeitnehmer. Dies wird zum Teil auf möglicherweise schon vorhandene Hörstörungen (z. B. Altersschwerhörigkeit) zurückgeführt. Der Grund dafür dürfte sein, dass die Trennschärfe für den Sprachschall verringert ist und der Hintergrundpegel (Maschinengeräusche, Stimmengewirr usw.) das selektive Hören beeinträchtigt. Untersuchungen bei Arbeiten unter Lärm zeigten, dass der blutdrucksteigernde Effekt des Lärms bei jüngeren Arbeitnehmern (unter 45 Jahren) stärker ausgeprägt ist als bei älteren (AHREND, 1995).

Bei Berufskraftfahrern gelten Hörverluste über 30 dB als behindernd. Das Arbeiten bei Hintergrundgeräuschen (z. B. Motorengeräusch) erschwert das akustische Erkennen von Sprache und Signalen, insbesondere bei einer Vorschädigung des Gehörs. Daher sollen ausreichend gute akustische Bedingungen bei Arbeitsplätzen mit besonderer Bedeutung akustischer Signale sichergestellt sein.

2.5.3 Vibrationssensibilität

Bei Sinnesmodalitäten der Haut ist ebenfalls eine Altersabhängigkeit zu beobachten. So nimmt die Vibrationssensibilität verstärkt nach dem 40. Lebensjahr ab. (Abbildung 2.16 und 2.17). An den Beinen ist eine entsprechende Schwellenhebung für Vibrationsreize stärker ausgeprägt als an den Händen, wobei letztlich nicht geklärt ist, inwieweit die Veränderungen an den Beinen mit subklinischen Durchblutungsstörungen in Zusammenhang stehen und damit als pathologisch einzustufen sind.

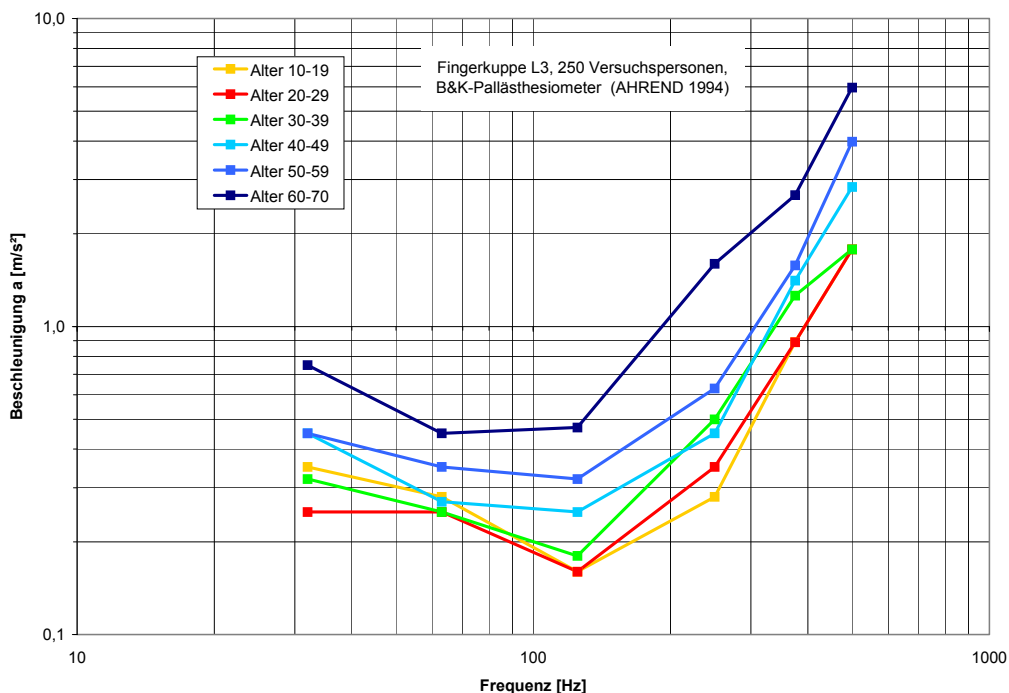


Abb. 2.16 Vibrationswahrnehmungsschwellen in Abhängigkeit vom Alter (Quelle: AHREND, 1994)

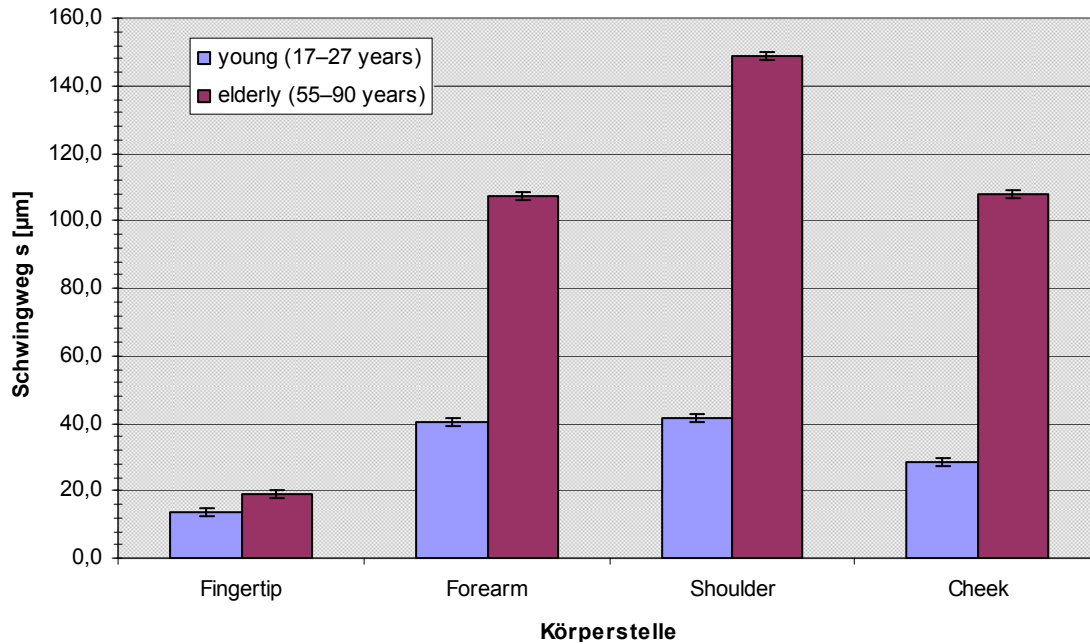


Abb. 2.17 Vibrationswahrnehmungsschwellen an verschiedenen Körperstellen bei Jungen und Älteren (Quelle: STUARD, 2003)

Bei der Vibrationsbelastung wird ebenfalls davon ausgegangen, dass Ältere stärker beeinträchtigt sind als Jüngere, da elastisch federnde Verbindungen des Bewegungsapparates bei ihnen spröder und empfindlicher geworden sind. Jedoch finden sich hierzu keine aussagefähigen Untersuchungen, die dies belegen können (AHREND, 1995).

2.5.4 Sonstige Sinne

Auch die Wärme- und Kältesensibilität, die Berührungssensibilität sowie die Wahrnehmungsschwelle des Geruchssinns sind im Alter häufig vermindert. Dagegen scheint die Schmerzschwelle nicht altersabhängig zu sein.

Die Sinne ermöglichen die Wahrnehmung und sind so Grundlage der Informationsverarbeitung. Sie besitzen wesentliche Bedeutung für die Leistung am Arbeitsplatz und bedürfen daher gerade beim älteren Arbeitnehmer besonderer Beachtung (AHREND, 1995).

2.6 Leistungsfähigkeit am Arbeitsplatz

ILMARINEN und TEMPEL (2002) beschreiben Arbeitsfähigkeit als „Summe von Faktoren, die eine Frau oder einen Mann in einer bestimmten Situation in die Lage versetzen, eine gestellte Aufgabe erfolgreich zu bewältigen“. Dabei handelt es sich um einen dynamischen „Prozess der Anpassung individueller Ressourcen und Arbeitsanforderungen“.

Arbeitsfähigkeit stellt demnach die Grundlage der Beschäftigungsfähigkeit dar und setzt sich aus drei Komponenten zusammen, die gleichberechtigt interagieren und sich gegenseitig bedingen (ILMARINEN und TEMPEL, 2002):

- Gesundheit: physische, psychische und soziale Leistungsfähigkeit,
- Ausbildung, Kompetenz und Wissen: lebenslanges Lernen und Qualifikation (Ressourcen im Arbeitsprozess, die durch persönliche Motivation und Arbeitszufriedenheit, Werte und Einstellungen des Menschen beeinflussbar sind),
- Konkret zu leistende Arbeit: durch Belastung und Beanspruchung determiniert (Anforderungen werden an die Arbeitskraft gestellt; Arbeitsumgebung und -organisation wirken ein).

Das bedeutet für den Erwerbstätigen nicht nur Wissen und Können lebenslang zu erwerben, zu pflegen und zu erweitern, sondern auch, Verantwortung für seine lebenslange Gesundheit und Lebensqualität wahrzunehmen.

Die Beteiligung des älteren Arbeitnehmers am Wirtschaftsleben müsste erleichtert werden, um das in Kapitel 1 formulierte Ziel der Verlängerung der Lebensarbeitszeit erreichen zu können. Nicht das Alter, sondern die Leistungsfähigkeit sollte das Kriterium des Personaleinsatzes sein. Die jeweils objektiv zutreffende Leistungsfähigkeit ist jedoch schwer zu beurteilen.

Bei der Diskussion um die Leistungen des älteren Arbeitnehmers am Arbeitsplatz müssen zunächst die Leistungsfähigkeit (das Potenzial) und die tatsächliche Nutzung des Potenzials unterschieden werden. Letzteres ist von der Leistungsbereitschaft und den Leistungs- bzw. Arbeitsmöglichkeiten abhängig. Bei der Beurteilung der Leistungsfähigkeit ist zu beachten, dass im Alter den Kompensationsmöglichkeiten des einzelnen Arbeitnehmers zusätzlich hohe Bedeutung zukommt. Ressourcen wie Erfahrung oder Leistungsbereitschaft können Leistungseinbußen, wie sie im Alter in bestimmten Teilbereichen auftreten, häufig ausgleichen.

Zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit mit fortschreitendem Alter muss eine Reihe methodischer Probleme gelöst werden. Große interindividuelle und interprofessionelle Unterschiede der Arbeitnehmer erschweren eine Beurteilung (AHREND, 1995; JORDAN, 1995) (Abbildung 2.18).

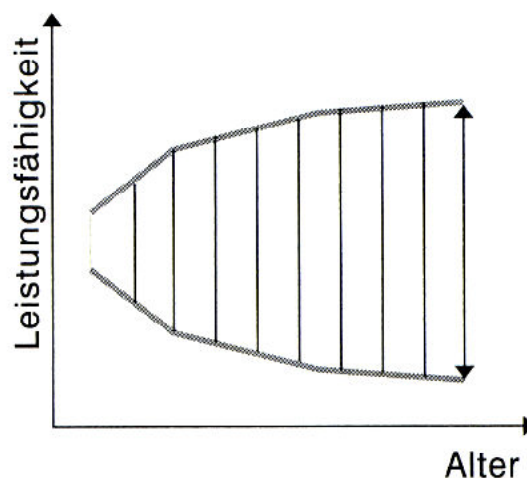


Abb. 2.18 Zunehmende Bandbreite interindividueller Unterschiede im Leistungsvermögen, im Gesundheitszustand und im Lebenslauf (Quelle: JORDAN, 1995)

LEHR (1991) versuchte dennoch, Grundlinien zur Beurteilung der beruflichen Leistung des älteren Arbeitnehmers zusammenzufassen:

- Die Altersunterschiede treten beim Vergleich *geübter* und *erfahrener* Arbeitnehmer zurück; bei einem Vergleich von unerfahrenen Arbeitnehmern schneiden jüngere zunächst besser ab.
- Arbeiten unter *Zeitdruck* sind insbesondere für ältere Mitarbeiter belastend. Im Alter von etwa 35 bis 45 Jahren hat die Geschwindigkeit des Arbeitens ihr Maximum erreicht. Die folgende Abnahme der Geschwindigkeit kann allerdings durch Training und Erfahrung zum Teil kompensiert werden.
- Bei Arbeiten, die *Genauigkeit*, *Arbeitssorgfalt* und *Exaktheit* fordern, zeigt sich kein Leistungsabfall im Alter. Ist kein Zeitdruck beim Arbeiten vorhanden, sind ältere Mitarbeiter oft den jüngeren sogar überlegen.
- Körperliche Schwerarbeit, sofern sie nicht zur Schwerstarbeit wird und mit stark wechselnden Belastungen einhergeht oder unter Zeitdruck ausgeführt werden muss, kann auch von den älteren Arbeitnehmern angenommen werden. Dabei ist eine gemäßigte Dauerbelastung eher von älteren Arbeitnehmern zu bewältigen als eine kurzzeitige Höchstleistung.

Obwohl die meisten der bisher im Kapitel 2 beschriebenen Leistungsfaktoren eine deutliche Verminderung mit der Zunahme des Lebensalters des Arbeitnehmers erkennen lassen, kann sich aus LEHR unter Zuhilfenahme von SEIBT et al. (2004) und WOODS (1981) ergeben, dass nicht generell von einem Leistungsabfall im Laufe des späteren Berufslebens ausgegangen werden muss. Es können vielmehr bis an die Ruhestandsgrenze hohe Leistungen erbracht werden. Die jeweils erbrachten Leistungen hängen offenbar weniger vom Alter ab als vielmehr von der Aus- und Weiterbildung, einem lebenslangen Training, den optimal angepassten beruflichen Anforderungen (weder Über- noch Unterforderung), dem betrieblichen und sozialen Umfeld, den spezifischen Arbeitsbedingungen sowie dem Gesundheitszustand wie JORDAN (1995) (Abbildung 2.19) zeigt.

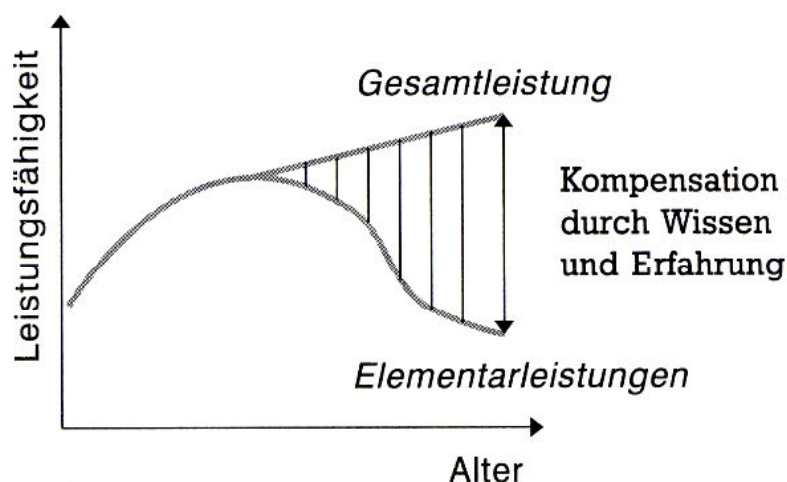


Abb. 2.19 Kompensation von Einschränkungen der körperlichen und geistigen Leistungsfähigkeit durch Wissen und Erfahrung

Die bisher dargestellten Erkenntnisse wurden entweder monofaktoriell ermittelt oder es wurde, wie zuletzt dargestellt, offensichtlich aus Einzelergebnissen auf ein multifaktorielles Ergebnis extrapoliert.

Daraus ergibt sich die Aufgabe, mittels multifaktorieller Belastungs- und Beanspruchungsuntersuchungen an realen Arbeitsplätzen oder in der Realität nahe kommenden Laborversuchen zu ermitteln, welche Ergebnisse sich aus gleichzeitig wirkenden und untersuchten Faktoren ergeben und ob diese Ergebnisse die dargestellten Annahmen bestätigen.

3 Unfall- und Krankheitsstatistik

3.1 Altersabhängige Krankheiten

3.1.1 Krankenstand und AU-(Arbeitsunfähigkeits-)Tage

Durch Krankheiten wird die Leistungsfähigkeit des Menschen wesentlich beeinflusst. Allerdings ist eine Abgrenzung zwischen Krankheit und einem physiologischen Altersabbau kaum möglich. Jedoch ist Altern nicht mit Krankheit gleichzusetzen (AH-REND, 1995).

LEHR (1991) unterscheidet drei Gruppen von Krankheiten des älteren Menschen:

1. Die *alternden Krankheiten*, die den Menschen schon in jüngeren Jahren treffen und die ihn bis ins hohe Alter begleiten.
2. Die *Krankheiten im Alter*, die wohl in jeder Altersgruppe gleich häufig auftreten können, aber unter den besonderen Voraussetzungen des alternden Menschen gesehen werden müssen.
3. Die *primären Alterskrankheiten*, die im Alter in typischer Weise das erste Mal auftreten und hier ihre Häufigkeitsgipfel zeigen.

Entscheidend für den Bereich „Arbeit und Alter“ sind die beiden letzten Krankheitsgruppen. Zur Beurteilung des Krankheitszustands werden die subjektive Selbstbeurteilung, die Fremdbeurteilung oder amtliche Statistiken wie beispielsweise die von Krankenkassen registrierten Arbeitsunfähigkeits-Fälle und -Tage oder Statistiken zur Frühberentung herangezogen.

So steigt der Krankenstand, wie im Barmer Gesundheitsreport 2008 ersichtlich (WIELAND, 2008), mit zunehmendem Alter (Abb. 3.1) (siehe auch TU DARMSTADT 2003).

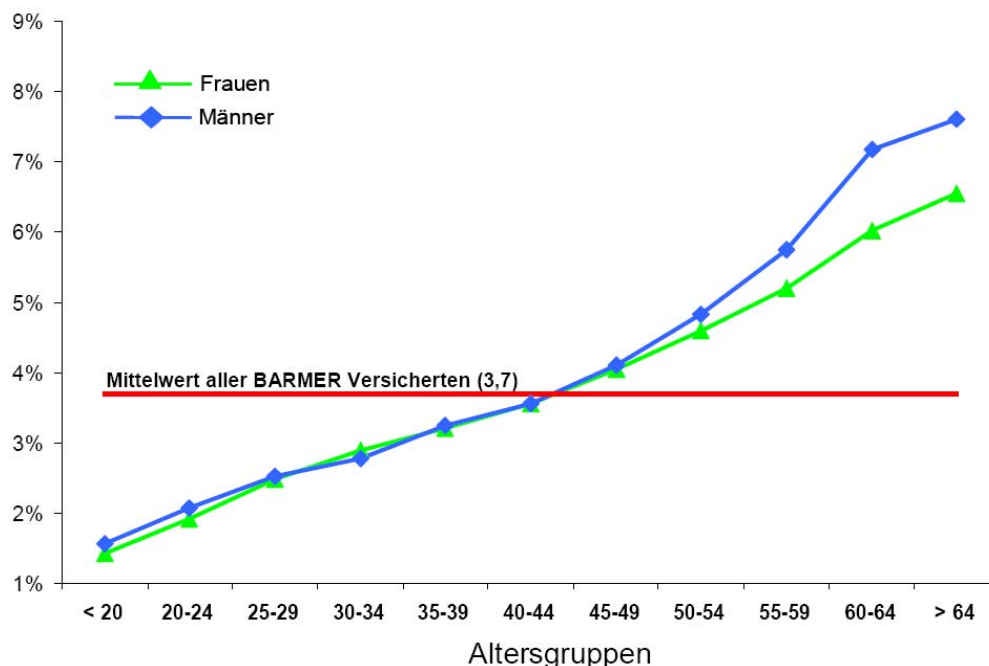


Abb. 3.1 Krankenstand in Prozent der BARMER-Versicherten in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht (Quelle: Barmer Gesundheitsreport 2008)

Die durchschnittliche Krankenstandsrate für Frauen und Männer (BARMER-Versicherte) beträgt 3,7 %, die Anzahl der Fehltage liegt bei 13,5 Tagen (AU-Tage). Bis zur Altersgruppe 40-44 Jahre liegen sowohl der Krankenstand als auch die AU-Tage unter dem Durchschnitt aller BARMER-Versicherten. Bis zum Alter von 50 Jahren gibt es keinen Geschlechtsunterschied beim Krankenstand. Danach sind vor allem männliche Erwerbstätige in ihrer Arbeitsfähigkeit stärker beeinträchtigt als weibliche Erwerbstätige. WIELAND (2008) rät, spezielle Präventionsstrategien für Männer ab dem 50. Lebensjahr zu entwickeln, da ihre gesundheitsbezogenen Ressourcen mit dem Alter offenbar stärker abnehmen, als dies bei Frauen der Fall ist. So stellt BIENER (1990) fest, dass mit zunehmender sportlicher Betätigung der Anteil der Personen zunimmt, welche sich als gesund bezeichnen. Ein weiterer Grund für die geschlechtsabhängige Arbeitsfähigkeit ab dem Alter von 50 Jahren liegt sicher auch in der bei Frauen stärker ausgeprägten Gesundheitskompetenz (Abbildung 3.2), (WIELAND, 2008; KORDT, 2008).

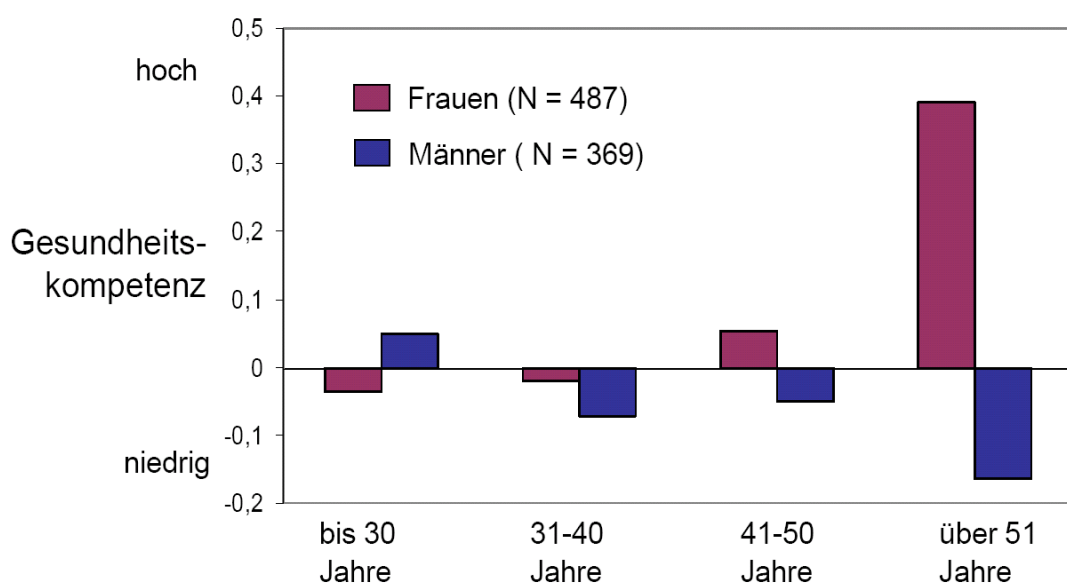


Abb. 3.2 Altersabhängige Gesundheitskompetenz bei Frauen und Männern (Quelle: Barmer Gesundheitsreport 2008)

Neben den Geschlechtsunterschieden hat auch die Arbeitstätigkeit einen Einfluss auf den Krankenstand. Je höher der Anteil an körperlicher Tätigkeit, desto höher ist auch die Krankenstandsrate (Abbildung 3.3).

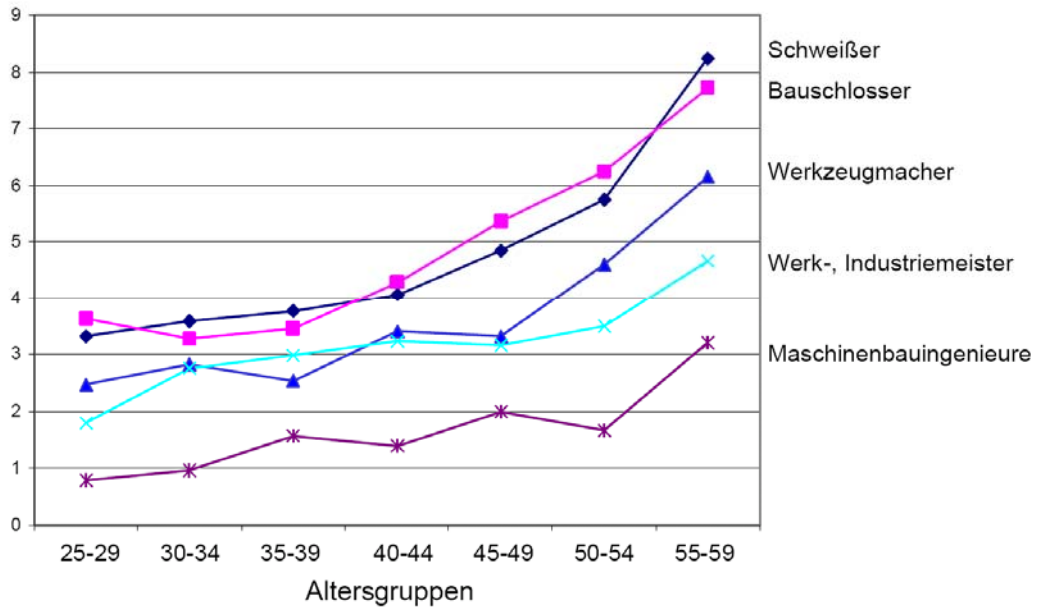


Abb. 3.3 Krankenstandsrate bei Arbeitstätigkeiten des Wirtschaftszweiges „Produzierendes Gewerbe“ (Quelle: Barmer Gesundheitsreport 2004)

Bei der Analyse des Krankenstandes ist zwischen der Anzahl der Arbeitsunfähigkeits-Fälle (AU-Fälle) und der Anzahl Arbeitsunfähigkeits-Tage zu unterschieden (AU-Tage). So ist bei Älteren die Anzahl der AU-Tage deutlich höher als bei Jüngeren, jedoch liegt die Anzahl der AU-Fälle bei den 60- bis unter 65-Jährigen auf gleichem Niveau wie die der 50- bis unter 55-Jährigen. Das bedeutet, dass die Älteren zwar eine längere Zeit hintereinander krank sind, aber nicht unbedingt häufiger krank werden (Abbildung 3.4).

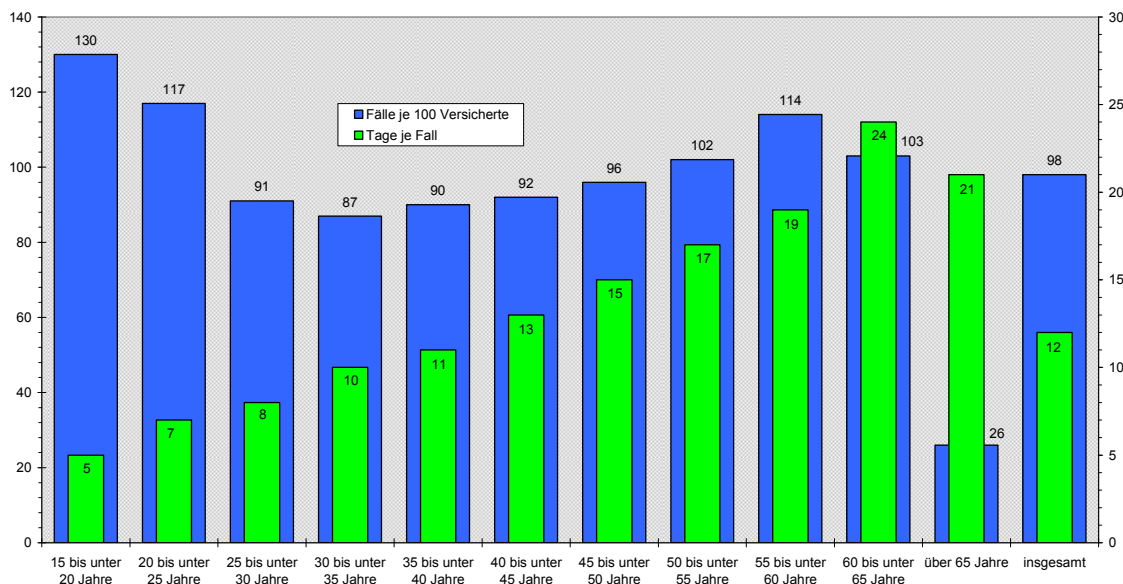


Abb. 3.4 Arbeitsunfähigkeitsfälle und -tage nach dem Alter (Quelle: Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit 2006)

3.1.2 Langzeiterkrankungen

Die nachfolgende Abbildung 3.5 zeigt, dass ab dem 25. Lebensjahr die Häufigkeit der Arbeitsunfähigkeitstage mit mehr als 42 Tagen (6 Wochen) ansteigt.

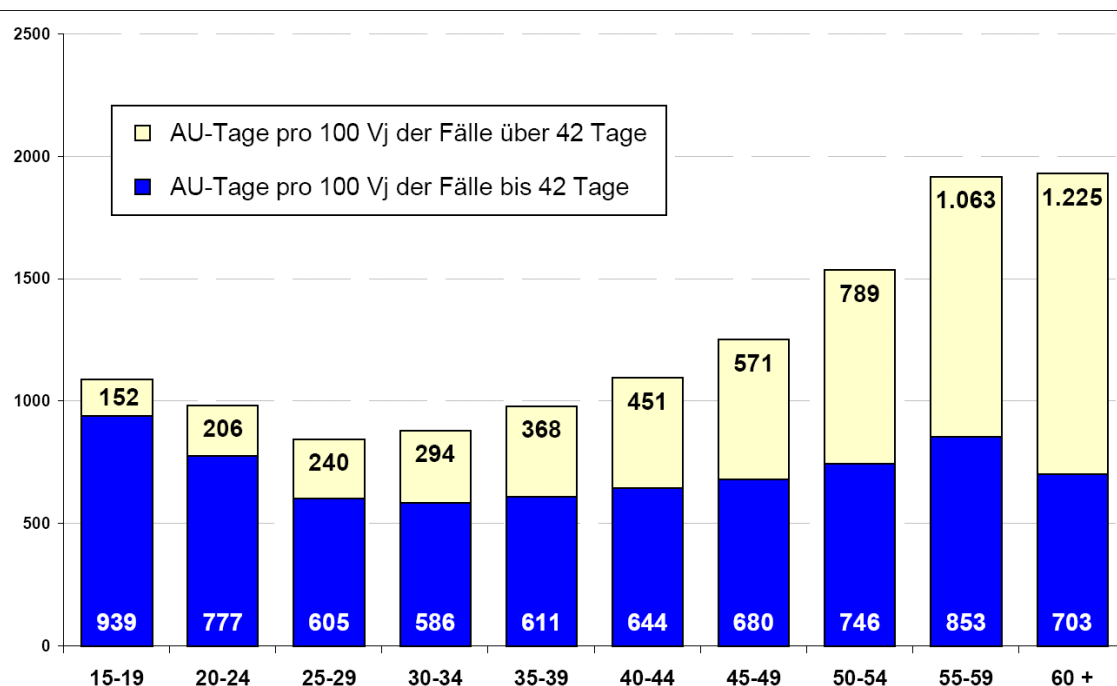


Abb. 3.5 AU-Tage pro 100 Versichertenjahre der Fälle bis 42 Tage und über 42 Tage Dauer nach Altersgruppen
(Quelle: DAK-Gesundheitsreport 2005)

Während bei den 25- bis 29-Jährigen ein Anteil von 28,4 % des Krankenstandes auf die Langzeit-Arbeitsunfähigkeitsfälle entfällt, werden in der Altersgruppe der über 60-Jährigen 63,5 % des Krankenstandes durch Erkrankungen von über 6 Wochen Dauer verursacht.

3.1.3 Erkrankungsarten

Die vier am häufigsten vorkommenden Erkrankungen sind:

- Erkrankung des Atmungssystems,
- Erkrankung des Muskel-Skelett-Systems,
- Verletzungen und Vergiftungen,
- Psychische- und Verhaltensstörungen.

Im Alter nehmen entzündliche zugunsten degenerativer Erkrankungen ab (AHREND, 1995). Während der Anteil der AU-Tage bei Erkrankungen des Atmungssystems mit zunehmendem Alter abnimmt, ist eine Zunahme der AU-Tage bei Erkrankungen des Muskel-Skelett-Systems zu beobachten (Abbildung 3.6).

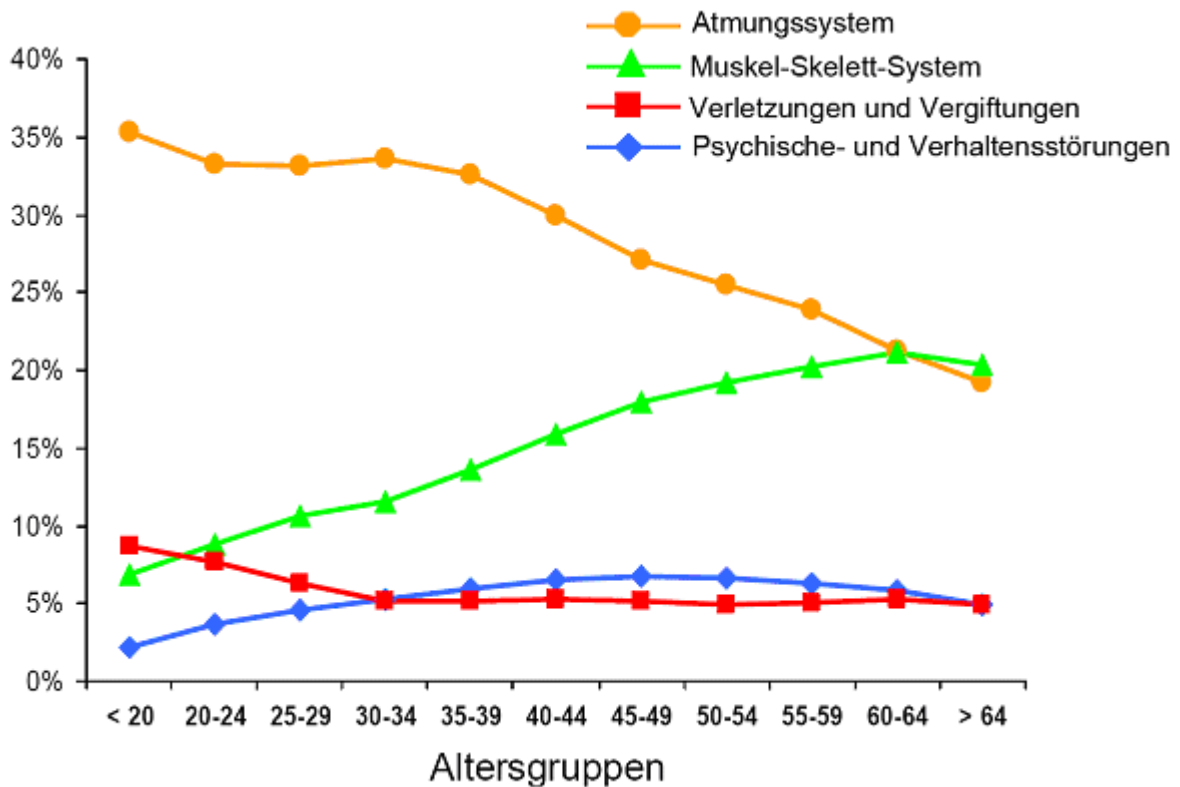


Abb. 3.6 Erkrankungsarten mit den höchsten prozentualen Anteilen am AU-Geschehen: Anteil an den Gesamt-AU-Tagen (Quelle: Barmer Gesundheitsreport 2008)

Bei Verletzungen und Vergiftungen wie auch bei psychischen Störungen und Verhaltensstörungen ist die Anzahl der AU-Tage ab dem 30. Lebensjahr weitgehend stabil.

3.2 Altersabhängige Berufskrankheiten

Eine besondere Gruppe der Erkrankungen des älteren Arbeitnehmers ist die der beruflich bedingten Krankheiten. Wenn anzunehmen ist, dass bestimmte Belastungen am Arbeitsplatz auf den Menschen einwirken, so wird dies normalerweise bei älteren Arbeitnehmern zeitlich länger geschehen als bei Jüngeren. Aufgrund der Gesamtbelastungsdauer ist eine Zunahme der Fälle von Berufskrankheiten bei älteren Arbeitnehmern zu erwarten (AHREND, 1995).

Leider kann die Frage, ob ältere Beschäftigte „anfälliger“ sind bestimmte Berufskrankheiten zu bekommen als junge Beschäftigte nur beantwortet werden, wenn die Altersverteilung der exponierten Versicherten bekannt wäre (Abbildung 3.7). In dieser Abbildung ist zwar die Anzahl der Beschäftigten bei denen ein Vibrationsbedingtes Vasospastisches Syndrom (BK 2104) festgestellt wurde in Abhängigkeit von der Schwingungseinwirkungsdauer dargestellt, jedoch fehlt hier die altersabhängige Gesamtzahl der Beschäftigten, so dass keine Auswertungen in dieser Richtung durchgeführt werden können.

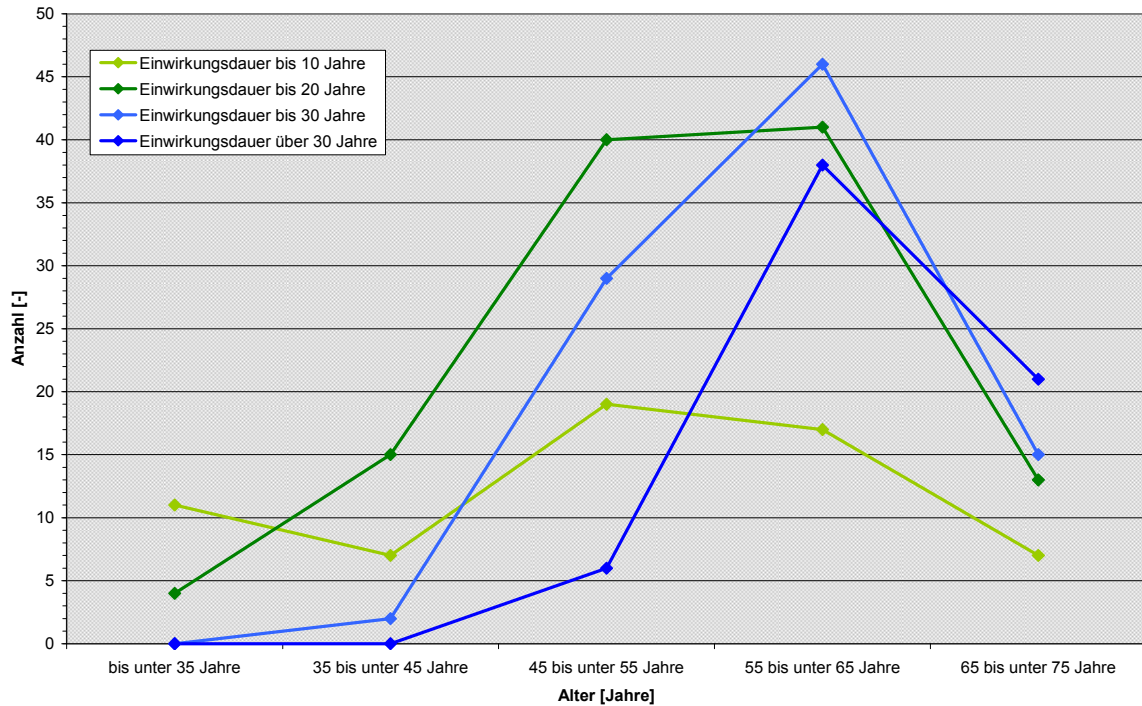


Abb. 3.7 Anzahl der Beschäftigten bei denen ein Vibrationsbedingtes Vasospastisches Syndrom (BK 2104) festgestellt wurde in Abhängigkeit von der Dauer der Schwingungseinwirkung

3.3 Altersabhängige Unfälle

In den meisten Statistiken zum altersabhängigen Unfallgeschehen nimmt die Unfallhäufigkeit mit dem Alter ab (WETTMANN, 2003) (Abbildung 3.8 und 3.9).

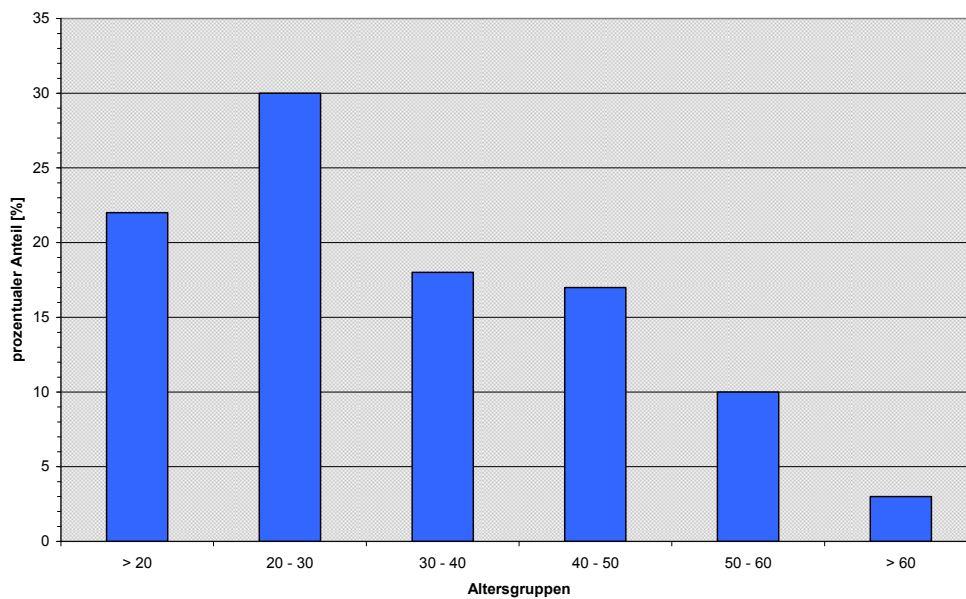


Abb. 3.8 Berufsunfälle in Forstbetrieben im Jahr 2003 (Daten aus: WETTMANN, 2005)

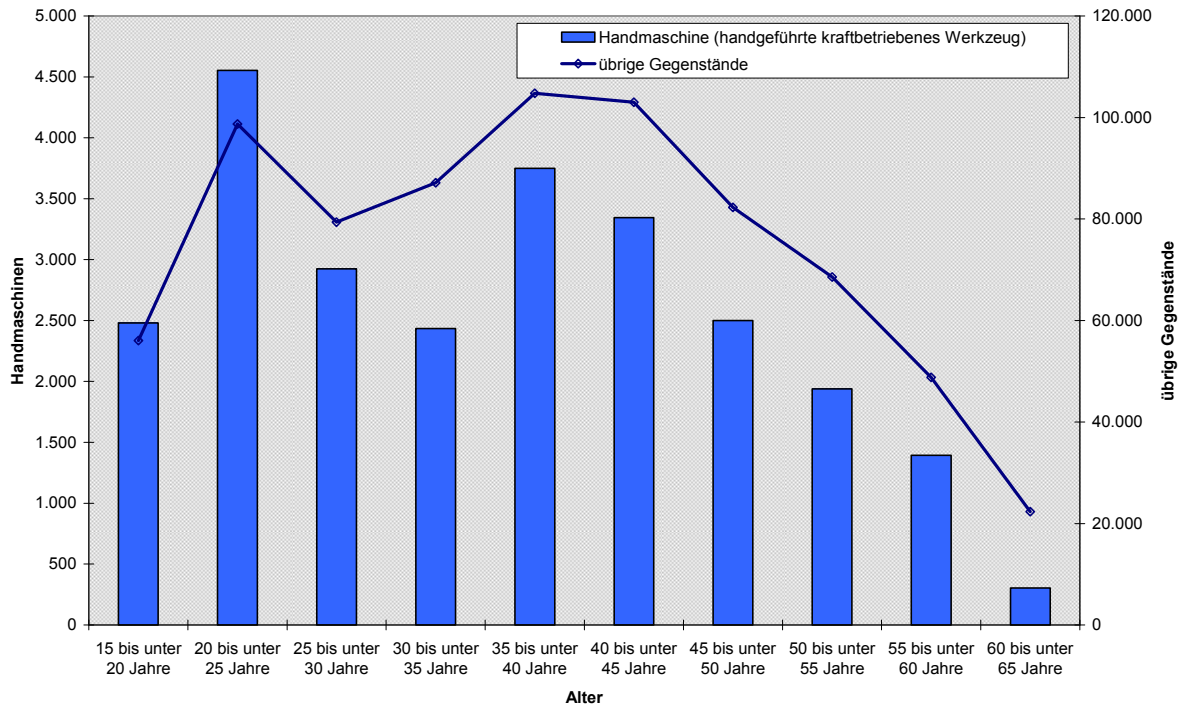


Abb. 3.9 Meldepflichtige Arbeitsunfälle mit einem handgeführten kraftbetriebenen Werkzeug im Betrieb im Jahr 2004 (Daten aus: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG))

Nicht berücksichtigt wird jedoch, dass die Anzahl der Beschäftigten in der Altersgruppe über 50 Jahren niedriger ist als in der Altersgruppe unter 50 Jahren. In Abbildung 3.10 ist noch die Anzahl der Beschäftigten eingezeichnet.

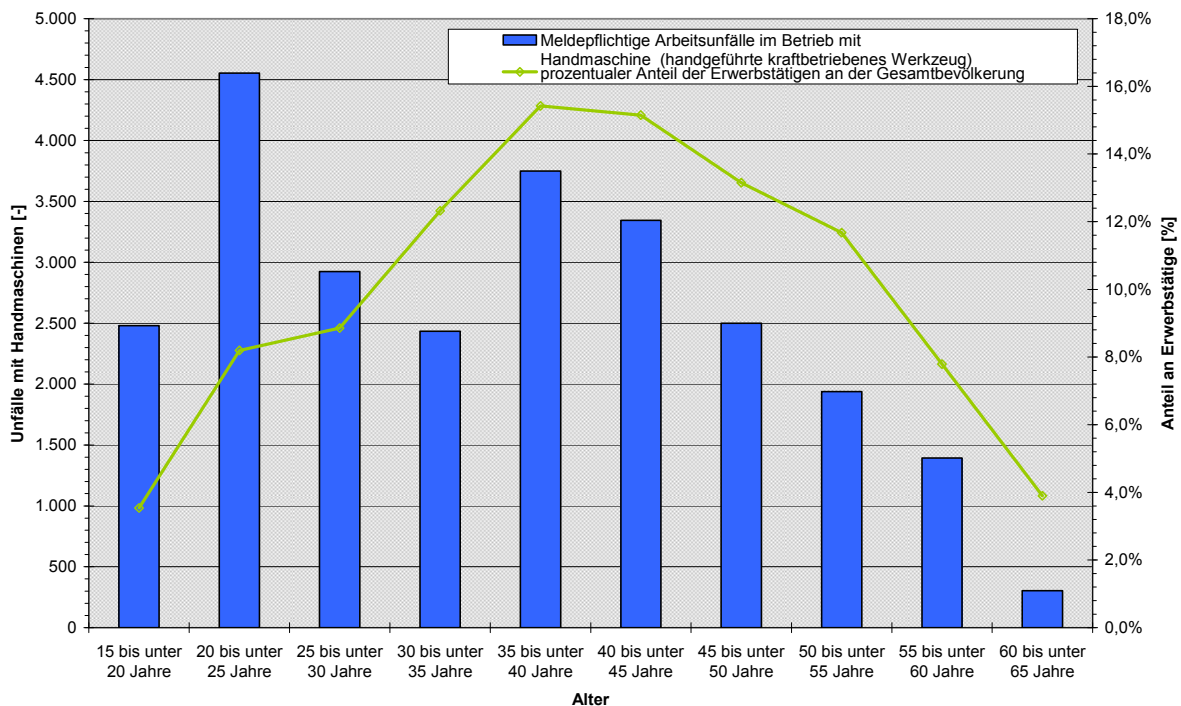


Abb. 3.10 Meldepflichtige Arbeitsunfälle und prozentualer Anteil der Erwerbstätigen

Wird der prozentuale Anteil der Arbeitsunfälle mit Handmaschinen bezogen auf den prozentualen Anteil der Erwerbstätigen gebildet, ergeben sich die in Abbildung 3.11 dargestellten prozentualen Unfallhäufigkeiten.

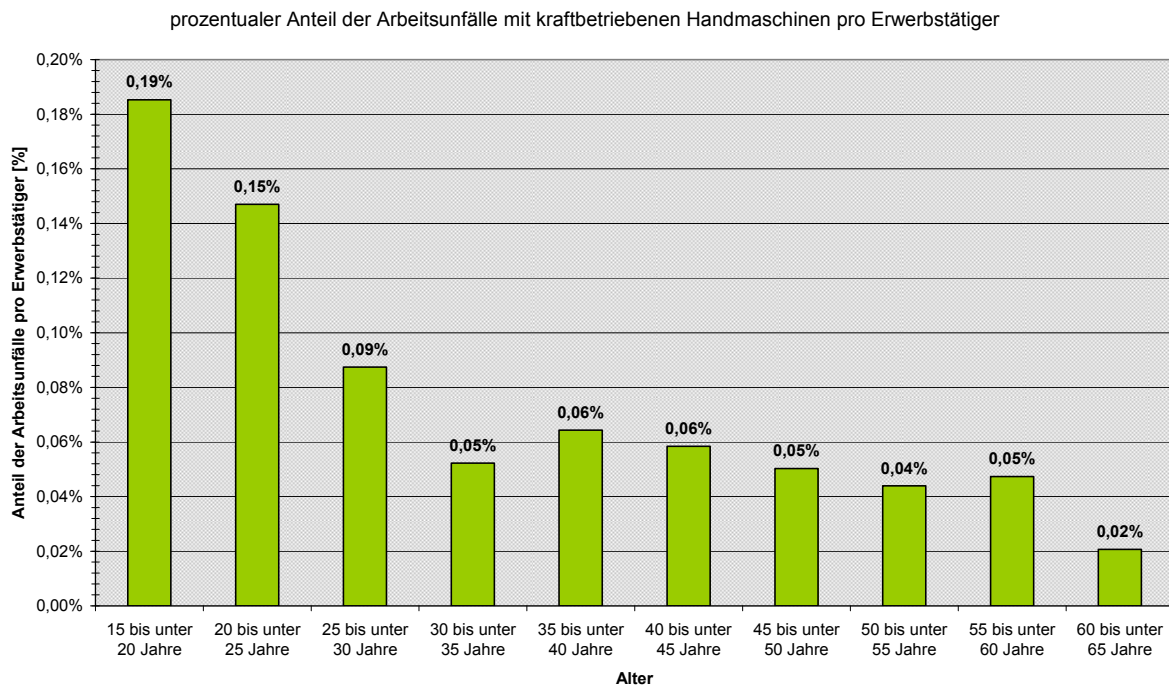


Abb. 3.11 Prozentuale Unfallhäufigkeit (Handmaschinen) pro Erwerbstätige

Jetzt zeigen sich in den Altersgruppen von 30 bis 60 Jahren nur geringe Unterschiede (0,044 bis 0,064 %) in der Unfallhäufigkeit. Allerdings ist hier anzumerken, dass nicht bekannt ist, wie groß der Anteil der Erwerbstätigen ist, die mit Handmaschinen arbeiten. Geht man davon aus, dass ältere Arbeitnehmer nicht so häufig mit Handmaschinen arbeiten, dann müsste sich der prozentuale Anteil an der Unfallhäufigkeit in dieser Altersgruppe erhöhen.

3.3.1 Unfälle mit Handmaschinen

In der nachfolgenden Statistik vom Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG) ist die Unfallhäufigkeit bezogen auf die Handmaschine aufgeführt. Danach passieren die meisten Unfälle mit Handschleif- und Handtrennmaschinen bei den kraftbetriebenen Handmaschinen bzw. mit Messern bei den manuell betriebenen Werkzeugen (Abbildung 3.12 und 3.13). Weiterhin kann nachgewiesen werden, dass die Anzahl der Unfälle in den Jahren 2001 bis 2003 zurückgegangen ist.

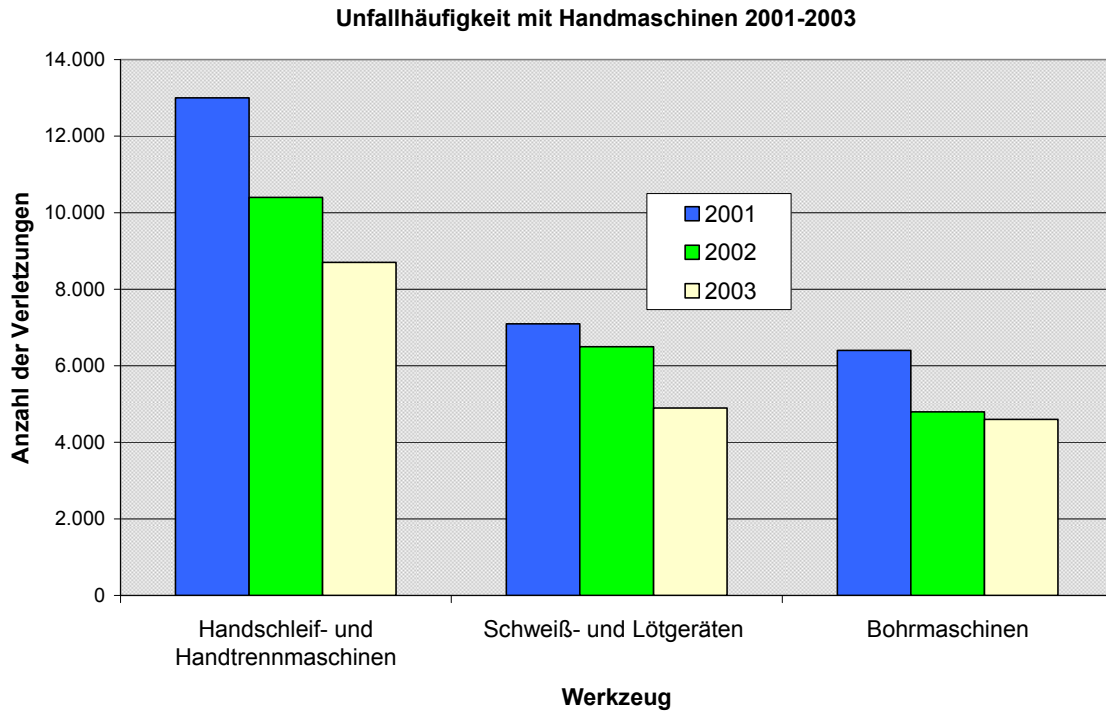


Abb. 3.12 Anzahl der Unfälle mit kraftbetriebenen Handmaschinen

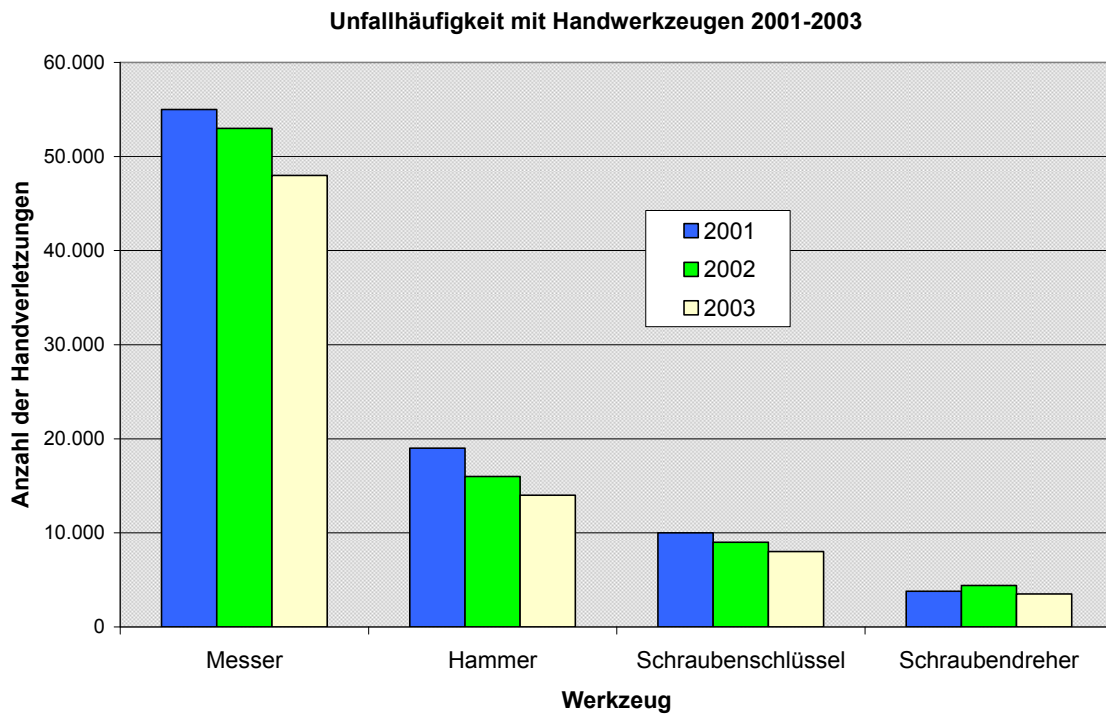


Abb. 3.13 Anzahl der Unfälle mit handbetätigten Werkzeugen

4 Befragung zu subjektiven Belastungseinschätzungen

4.1 Methode

Ziel der Fragebogenaktion war es, subjektive Belastungseinschätzungen von jungen und älteren Mitarbeitern beim Arbeiten mit Handgeräten zu ermitteln.

Der Fragebogen umfasste insgesamt 32 Fragen, je zur Hälfte aus Angaben zur Person bzw. zum Betrieb sowie zur Beanspruchung bei der Benutzung der am häufigsten benutzten Maschine.

Die Fragen zur Benutzung der Maschine beziehen sich auf die Belastungen, die von der Umgebung herrühren und die direkt von der Maschine ausgehen. Daneben werden noch die für die Tätigkeit benötigten Fähigkeiten des Bedieners abgefragt.

- Belastung durch die Umgebung
 - o Beleuchtung
 - o Klima
 - o PSA

- Belastung durch die Maschine
 - o Lärm
 - o Vibration
 - o Temperatur
 - o Staub, Öl, Gas

- Benötigte Fähigkeiten des Bedieners
 - o Hörfähigkeit
 - o Sehfähigkeit
 - o Kraft
 - o Feinmotorik/Tastsinn
 - o Bewegungsfähigkeit
 - o Psychomotorik (erkennen, entscheiden, reagieren)

Für diese Fragen wurde eine Fünfer-Skala verwendet, von „1“ (bzw. „-“) für nicht beansprucht bis „5“ (bzw. „+“) für sehr beansprucht, jeweils mit der Möglichkeit, eine zusätzliche Stellungnahme abzugeben.

Da die Maschinen oft mit unterschiedlichem Arbeitszweck, in unterschiedlichen Umgebungen, zu unterschiedlichen Jahres- oder Tageszeiten oder/und für unterschiedliche Arbeitsobjekte benutzt werden, wurden tendenziell die Situationen mit der größten Belastung für die jeweilige Einstufung ausgewählt.

Fragebogen Handmaschinen und Arbeitsaufgabe Datum:

Firmenname	
Versuchsperson Nr.	
Name	Vorname
Alter	
Größe [cm]	Gewicht [kg]
Händigkeit (bei der Bedienung)	
Brillen Träger (bei der Bedienung)	Hörgeräteträger
Dauer der Tätigkeit mit dieser Maschine (Jahre)	Tagesdauer (Stunden)
Berufserfahrung	Betrieb (Anzahl MA)
	Art des Betriebes

Vorschädigung/Bemerkungen

Arbeitsgebiet	Berufsgruppe	Maschine	Arbeitsaufgabe Beschreibung
Belastung/Gefährdung mit Gewichtung			
(sehr hoch ++, +, 0, -, -- sehr gering)			
Umwelt/ Umgebung			
Beleuchtung	Klima	PSA	
Rating			
Bem.			
Maschine			
Lärm	Vibration	Temperatur	Staub, Öl, Gas
Rating			
Bem.			
Bediener			
Hörfähigkeit	Sehfähigkeit	Kraft	Feinmotorik Tastsinn
Rating			
Bem.			
Bewegungsfähigkeit		Psychomotorik	
Rating			
Bem.			

Abb. 4.1 Fragebogen zur subjektiven Einschätzung

Hinweise	
Umwelt/Umgebung:	
- Beleuchtung:	Lichtverhältnisse am Arbeitsplatz
- Klima:	Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Zugluft am Arbeitsplatz
- PSA:	Zu tragende Schutzvorrichtungen/-kleidung, z.B. Schutzbrille, Hörschutz, Handschuh, Thermoschürze
Maschine:	
- Lärm:	Von der Maschine abgestrahlter Lärm
- Vibration:	Von der Maschine übertragene Schwingungen
- Temperatur:	Von der Maschine abgestrahlte Wärme
- Staub, Öl, Gas:	Von der Maschine verteilte Öl/Gase oder durch Bearbeitungsaufgabe entstehende Staubbentwicklung
Bediener:	
- Hörfähigkeit:	Für die Bearbeitungsaufgabe notwendige Hörfähigkeit
- Sehfähigkeit:	Für die Bearbeitungsaufgabe notwendige Sehfähigkeit
- Kraft:	Vom Bediener aufzuwendende Kraft
- Feinmotorik/Tastsinn:	Für die Bearbeitungsaufgabe notwendige Feinmotorik oder erforderlicher Tastsinn
- Bewegungsfähigkeit:	Für die Bearbeitungsaufgabe notwendige Beweglichkeit in Form von Hand-Arm- und Ganzkörperbeweglichkeit sowie Körperhaltung
- Psychomotorik:	Reaktions-Leistungsfähigkeit (erkennen, entscheiden, reagieren)

Abb. 4.2 Erläuterungen zum Fragebogen

4.2 Interviews

Es wurden 81 Interviews mit Arbeitnehmern aus sechs Branchen mit der in Tabelle 4.1 dargestellten Verteilung durchgeführt.

Tab. 4.1 Branchen und Zahl der Interviews

Branche	Zahl der Interviews	
	< 45 Jahre	≥ 45 Jahre
Bau	23	1
Kraftfahrzeug	15	7
Metall	7	5
Gartenbau	4	4
Raumpflege	4	2
Nahrung	2	3
Holz	1	2
Gas- und Wasserinstallation	1	0
Gesamt	57	24

Die Kontakte zu den Firmen entstanden zum Teil aufgrund persönlicher Beziehungen der Auftragnehmer zu Mitarbeitern der Firmen, zum Teil über telefonische Anfragen. An der Umfrage nahmen überwiegend kleine und mittelständische Betriebe teil, nur wenige große (z. B. VW). Geografische Schwerpunkte der Befragung war Südwestdeutschland, vor allem die Räume Freiburg und Karlsruhe, wobei einzelne Firmen auch aus Standorten nördlich des Mains teilnahmen.

Der Schwerpunkt der Befragung lag bei Mitarbeitern im Alter von 36 bis 55 Jahren (50 Interviews). Bei der Befragung der unter 36-Jährigen waren 12 Personen, in der Gruppe über 55 Jahren 19 Personen beteiligt. Sofern der Kontakt über die vorgesetzten Stellen ging, wählten diese nach Maßgabe von „Branche, Bedienung von Handmaschinen, über/unter 45 Jahre alt“ die zu interviewenden Mitarbeiter nach deren Einwilligung aus.

4.3 Ergebnisse

Ein Interview dauerte meist ca. 15 Minuten. Viele der Interviewten beantworteten Fragen auch gerne ausführlich mit entsprechender Verlängerung des Interviews. Da sie im Allgemeinen mehrere handgeführte Maschinen benutzen, wurde die zu beurteilende Maschine mit dem Hinweis „typisch“ oder „am häufigsten benutzt“ ausgewählt. Die Fragen bezogen sich dann ausschließlich auf diese Maschine.

Auf den folgenden Seiten sind einige wesentliche Rating-Ergebnisse dargestellt. Hieraus ist zu entnehmen, dass die jüngeren Personen überwiegend höhere Ratings abgaben, also tendenziell eine höhere Beanspruchung bei der Benutzung der jeweiligen Maschine empfinden. Dies betrifft z. B. die Beanspruchung durch Klima, Lärm, Vibrationen und sogar die Beanspruchung durch den Kraftaufwand und die psychomotorischen Belastungen.

Die älteren Personen gaben bei den verschiedenen Beanspruchungsarten häufiger keine bis geringe Beanspruchung an, während die Jüngeren beim Tragen von PSA, Lärm, Vibration und bei der Kraftanstrengung eher höhere Beanspruchungen angaben (Abbildung 4.5, 4.6, 4.7, 4.12).

Mittlere und höhere Beanspruchungen aufgrund des Klimas ergeben sich häufig an Arbeitsstätten, die im Sommer dem warmen Wetter ohne Klimaanlage ausgesetzt sind. Obwohl die meisten Maschinen relativ laut sind, wurde bei der Beanspruchung durch Lärm oft auf den verwendeten Gehörschutz verwiesen. Entsprechende Hinweise auf Schutzmaßnahmen, z. B. Mund- und Augenschutz sowie Absaugvorrichtungen, gab es bei der Einwirkung durch Staub (Abbildung 4.9).

Bei der Beanspruchungsart „Bewegungsfähigkeit“ liegen jüngere und ältere Personen vor allem bei mittleren bis höheren Beanspruchungen in der Aussage gleichauf (Abbildung 4.14). Hier verwiesen die Befragten vor Allem in den Branchen Bau und Kraftfahrzeug auf die Notwendigkeit, dass sie mit der Maschine verschiedene, auch unbequeme Körperstellungen einnehmen müssen, z. B. knien, und in verwinkelte Bereiche der Häuser oder Fahrzeuge kriechen müssen.

Die Frage nach der psychomotorischen Beanspruchung wurde von beiden Personengruppen, mehr bei der jüngeren, mit der erforderlichen Konzentration beim Umgang mit der jeweiligen Maschine beschrieben (Abbildung 4.15). Zum Beispiel besteht bei schweren Winkelschleifern die Gefahr, dass sie „wegziehen“ und mit der entsprechenden Unfallgefahr aus der Hand gleiten.

Verschiedene Beanspruchungsarten wirken erst bei längerer Benutzung der Maschinen, insbesondere die Einwirkung von Vibrationen (Abbildung 4.7).

Bei den Beanspruchungsarten „Sehfähigkeit“ und „Feinmotorik“ gibt es bei beiden Personengruppen ein Maximum bei der mittleren Stufe (Abbildung 4.11, 4.13). Beim Sehen sind die Unterschiede zwischen den Branchen mit unterschiedlichen Materialien und Ansprüche an die Genauigkeit auffälliger: Z. B. ist für die Bearbeitung von Karosserieoberflächen mit Winkelschleifern eine genaue Beobachtung erforderlich. Eher geringere Beanspruchungen finden sich aufgrund der Beleuchtung, der Wärmeabstrahlung der Maschine und der notwendigen Hörfähigkeit (Abbildung 4.3, 4.8, 4.10).

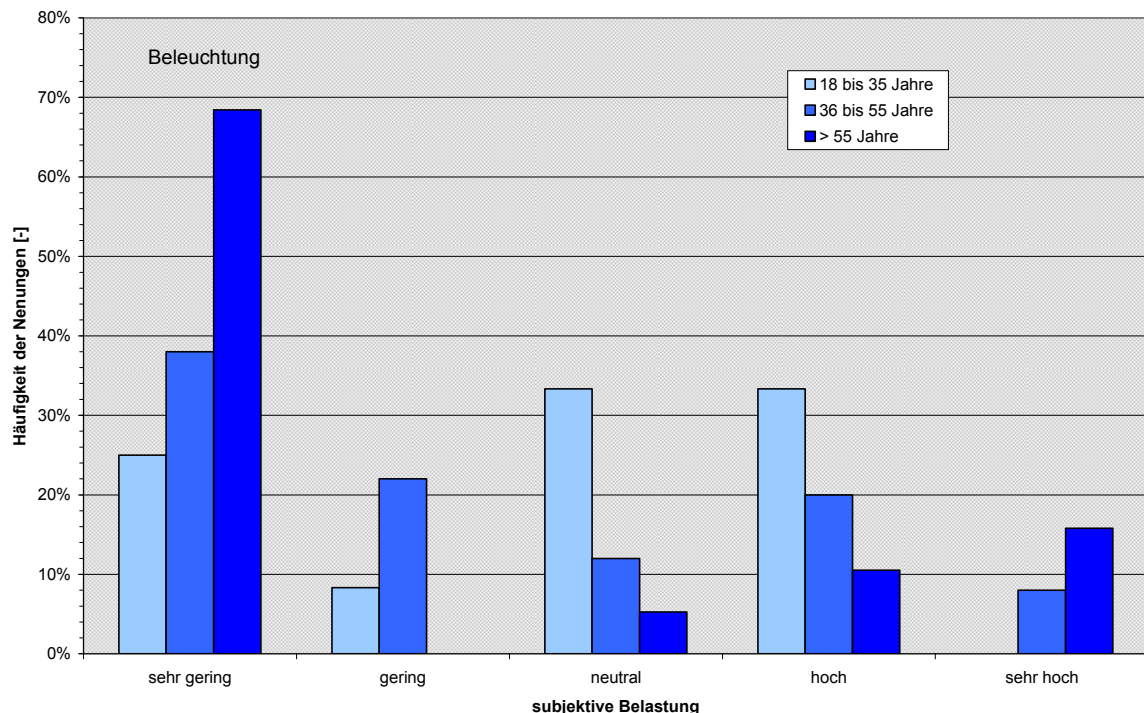


Abb. 4.3 Auswertung der Belastung durch Beleuchtung (Umgebung)

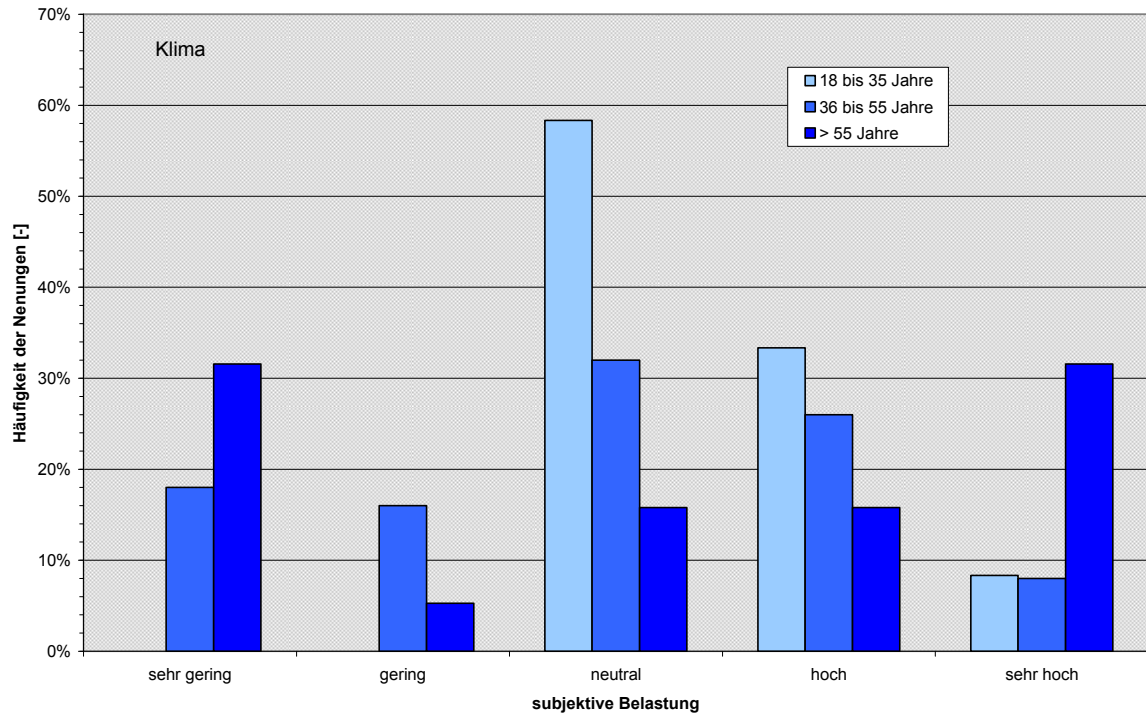


Abb. 4.4 Auswertung der Belastung durch Klima (Umgebung)

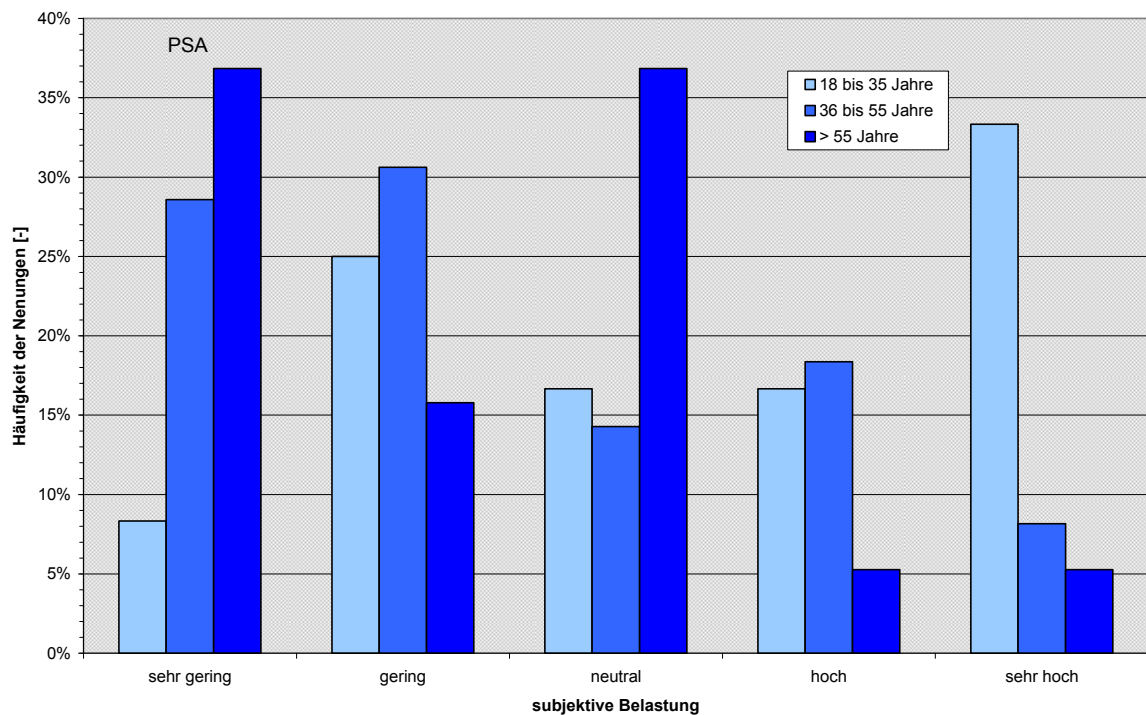


Abb. 4.5 Auswertung der Belastung durch PSA (persönliche Schutzausrüstung)

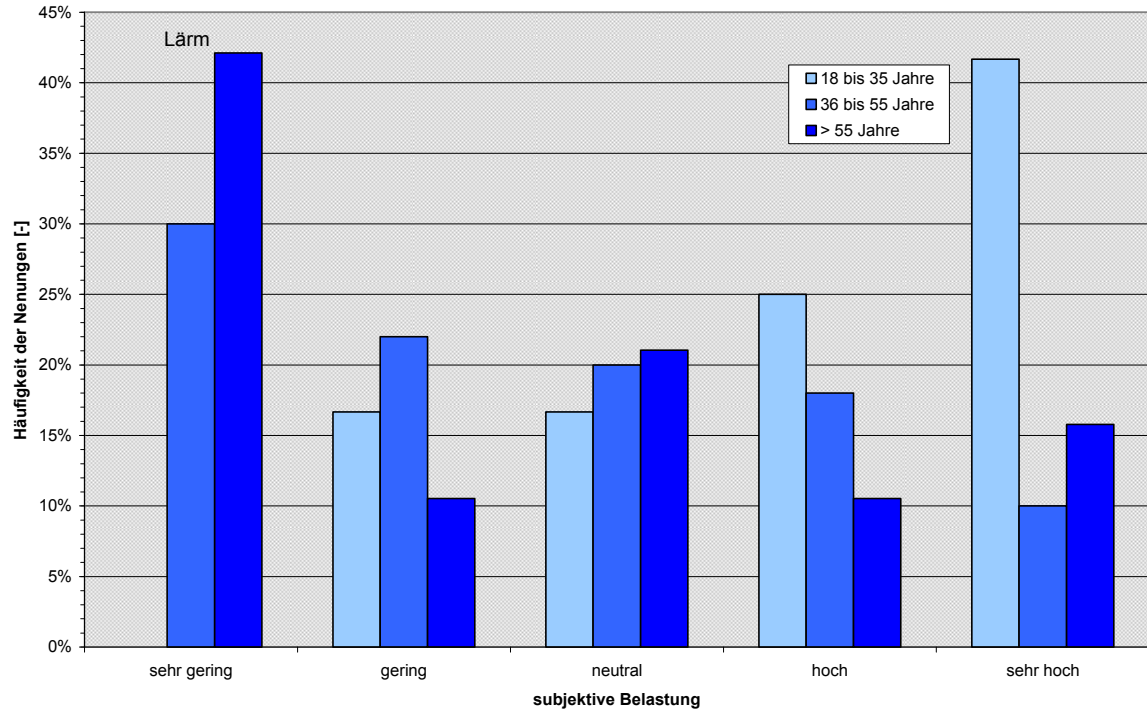


Abb. 4.6 Auswertung der Belastung durch Lärm des Arbeitsmittels

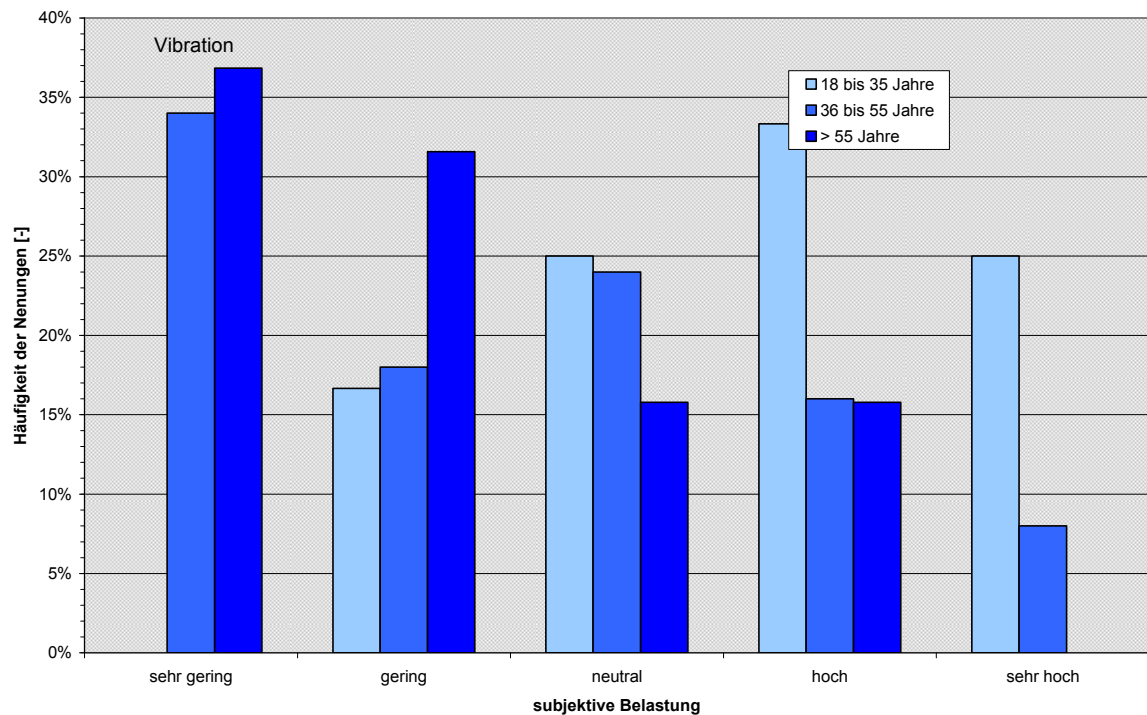


Abb. 4.7 Auswertung der Belastung durch Vibrationen des Arbeitsmittels

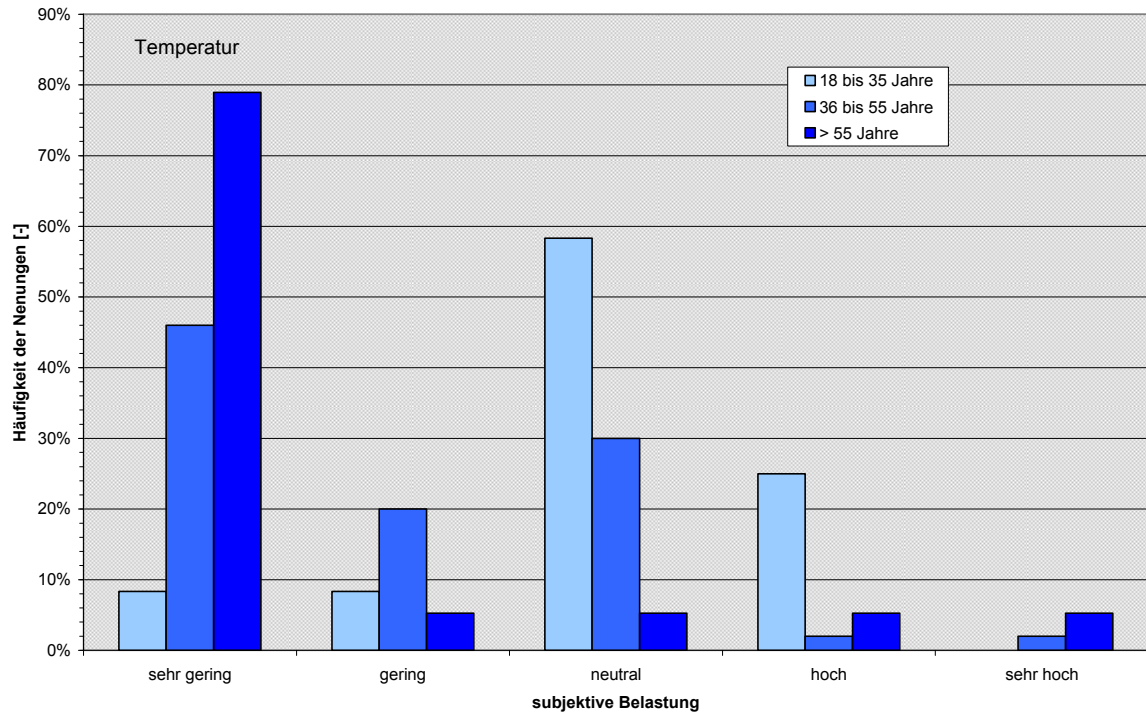


Abb. 4.8 Auswertung der Belastung durch Temperatur des Arbeitsmittels

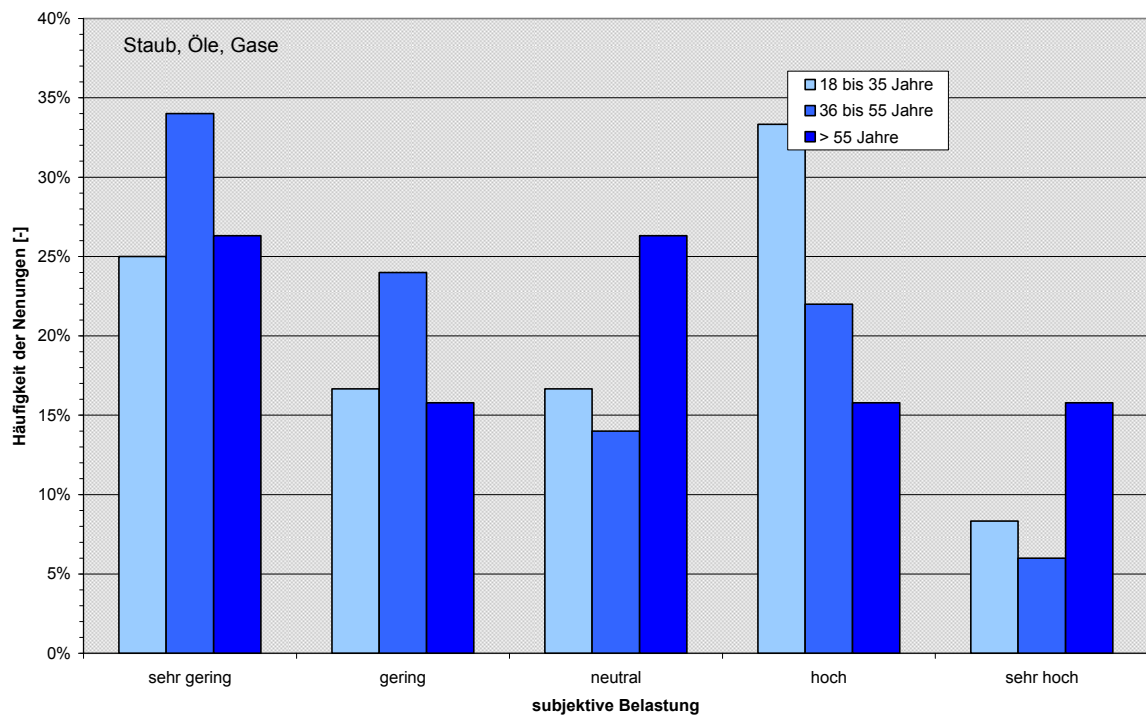


Abb. 4.9 Auswertung der Belastung durch Staub, Öl und Gase des Arbeitsmittels

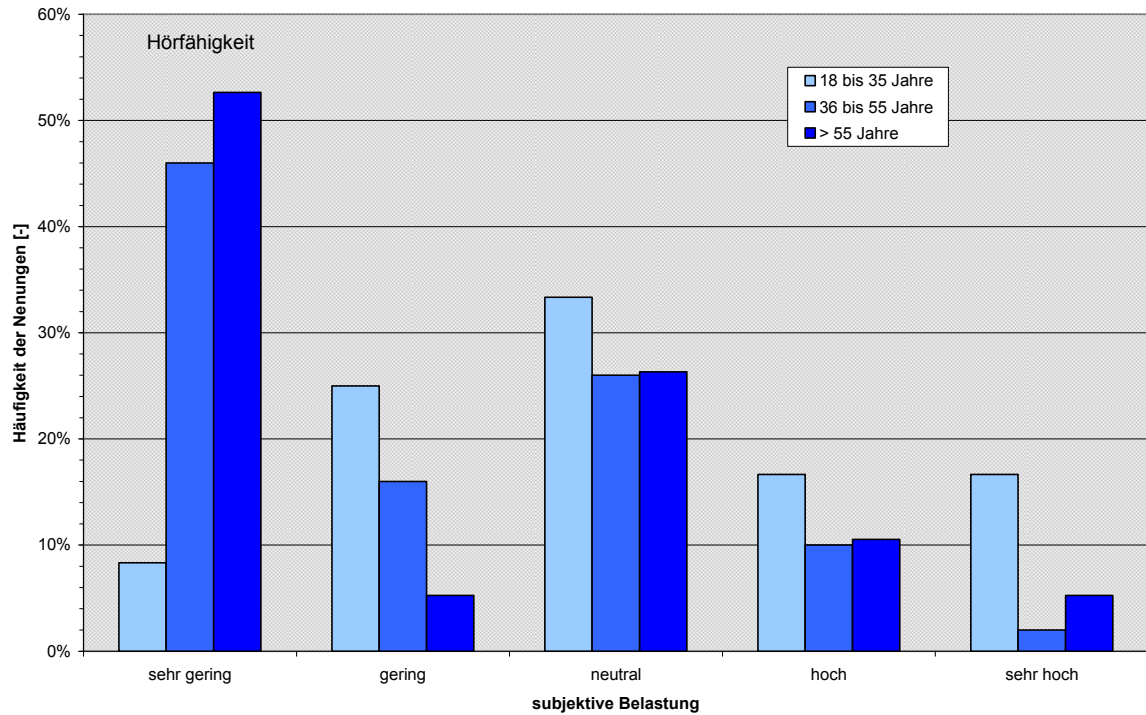


Abb. 4.10 Auswertung der Belastung der Hörfähigkeit des Bedieners

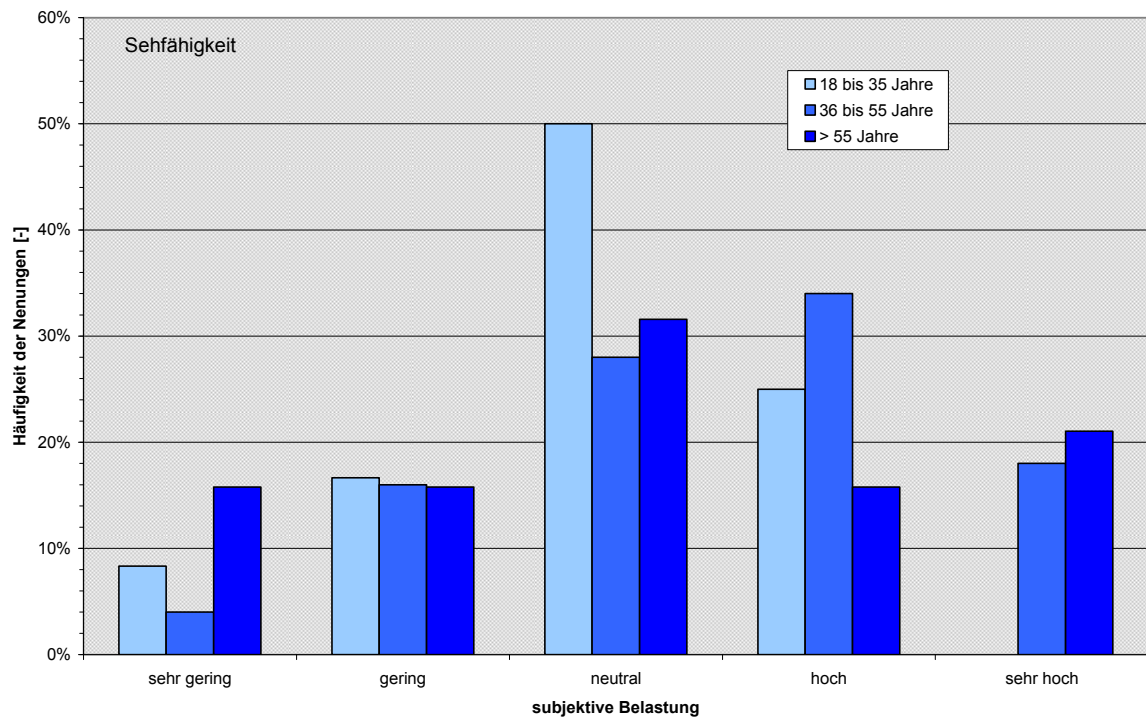


Abb. 4.11 Auswertung der Belastung der Sehfähigkeit des Bedieners

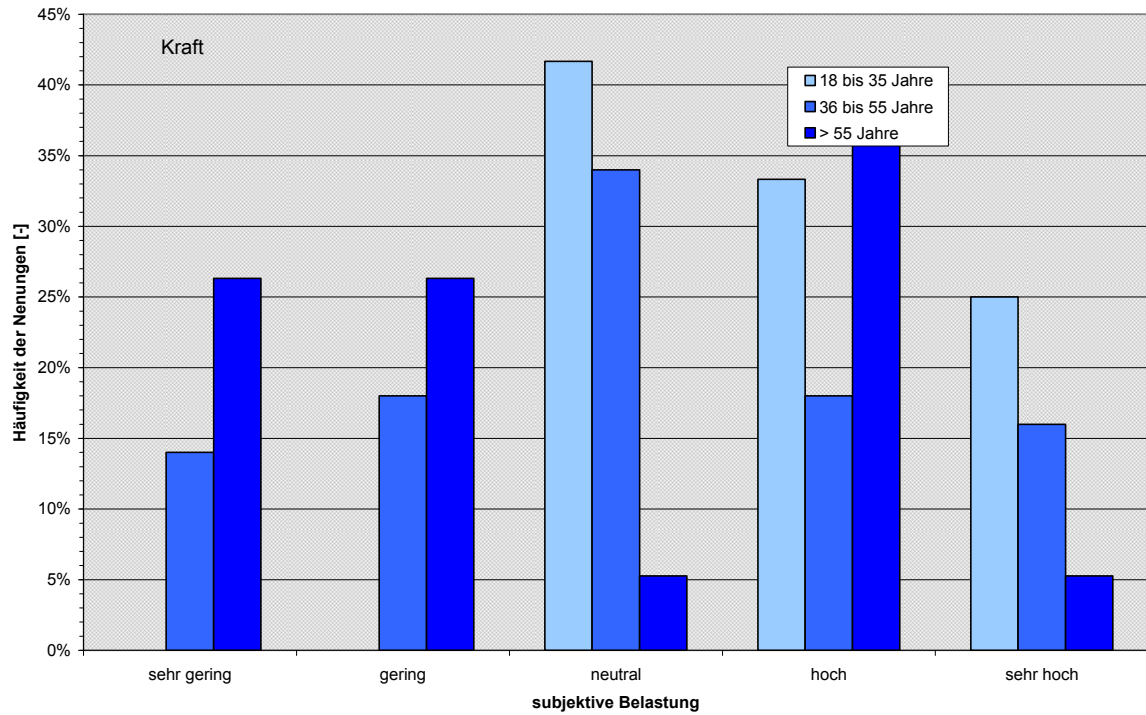


Abb. 4.12 Auswertung der Belastung durch Kraftanstrengung des Bediener

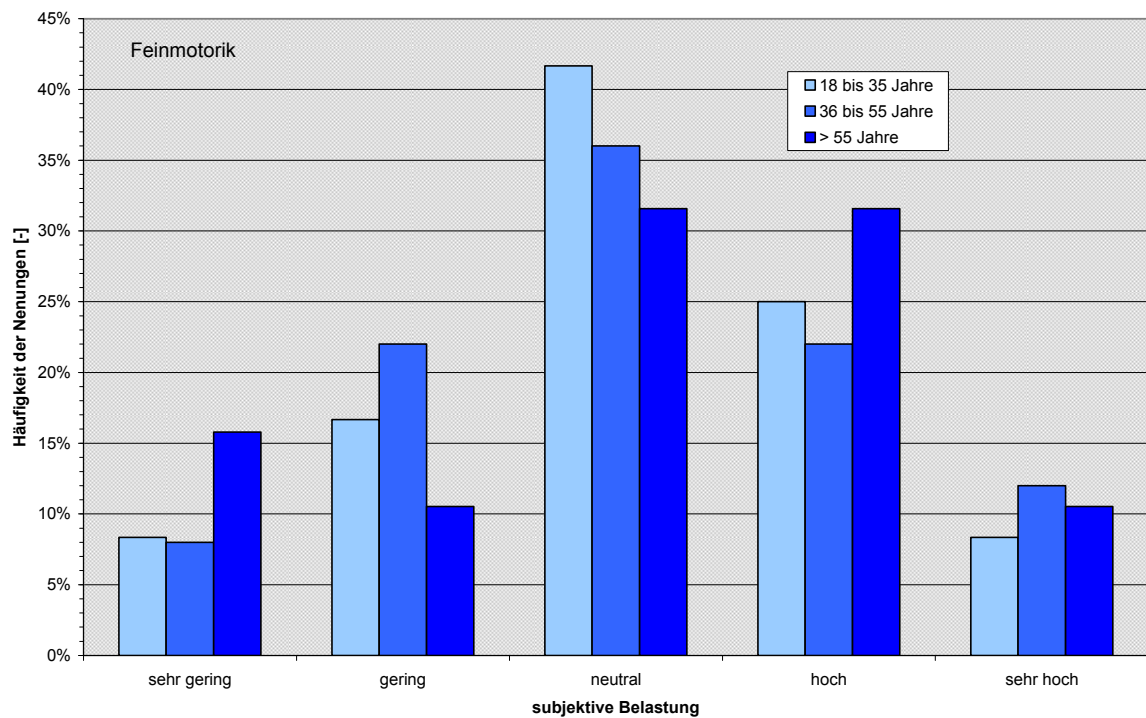


Abb. 4.13 Auswertung der Belastung Feinmotorik/Tastsinn des Bediener

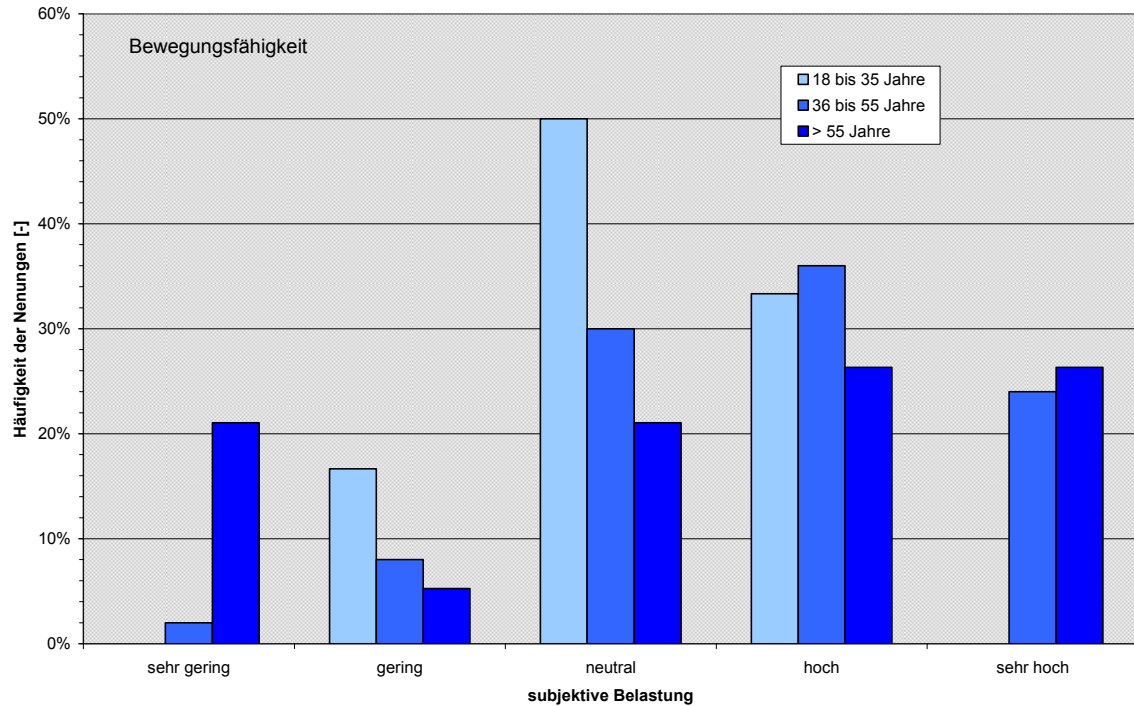


Abb. 4.14 Auswertung der Belastung durch Bewegungsfähigkeit des Bedieners

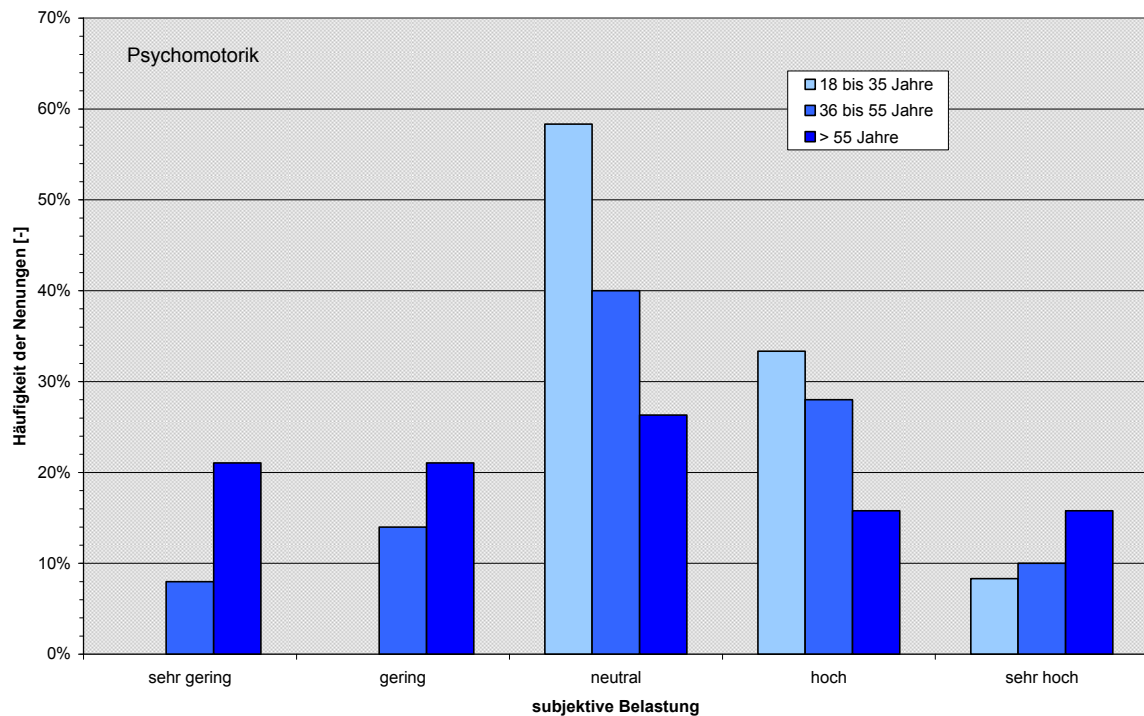


Abb. 4.15 Auswertung der Belastung durch Psychomotorik des Bedieners

Die nachfolgende Grafik (Abb. 4.16) zeigt eine Zusammenfassung der Fragebogenaktion. Im Bereich Umwelt wird dem Klima bezüglich der Belastung die höchste Bewertung gegeben. Die Verwendung der persönlichen Schutzausstattung wird von den jungen Befragten nicht weniger belastend bewertet. Die Älteren sehen hier kaum

eine Belastung. Vielleicht liegt das daran, dass viele ältere Beschäftigte keine PSA verwenden.

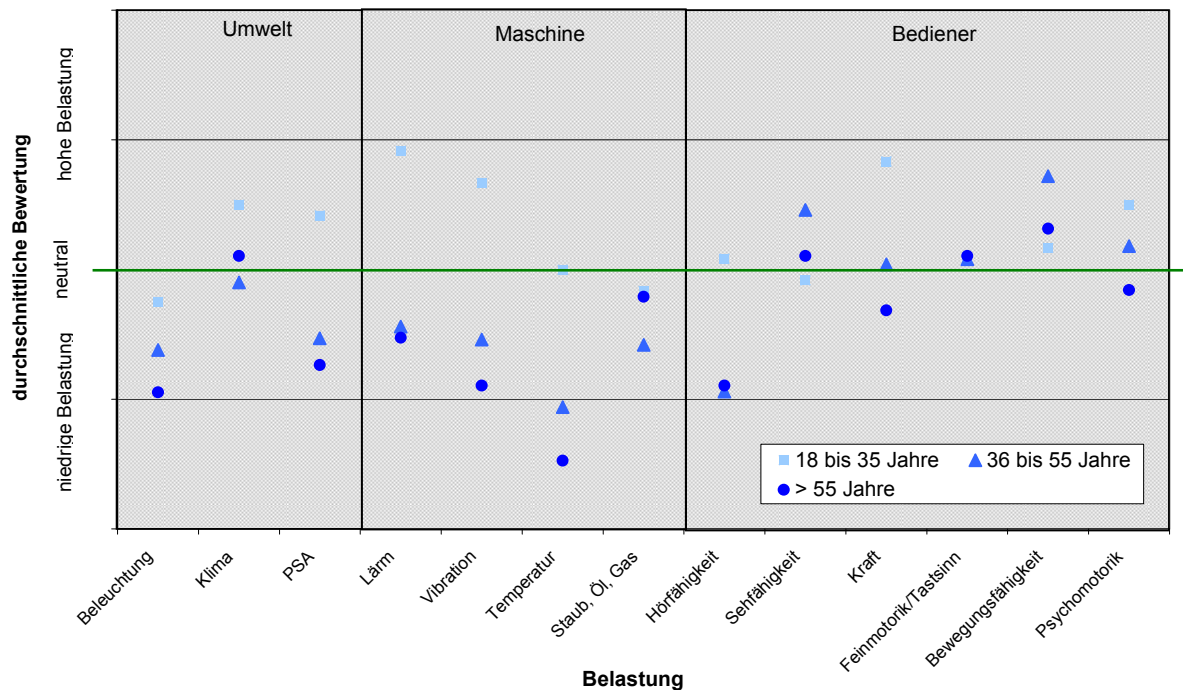


Abb. 4.16 Durchschnittliche subjektive Bewertung der einzelnen Belastungen

Ähnlich ist sicher auch die subjektive Belastungshöhe des Lärms zu beurteilen. Während die Jungen hier eine hohe Belastung sehen, ist der Lärm bei den Älteren kaum ein Thema. Auch die Vibrationen, die nicht ganz so kritisch gesehen werden, schneiden in der Belastungshöhe bei den jungen Befragten schlechter ab als bei den Älteren.

Tendenziell werden den bedienerbedingten Belastungen höhere Belastungen zugesprochen als den Belastungen durch die Umwelt oder durch die Maschine.

Wie bereits erwähnt, bewerten die jüngeren Personen die unterschiedlichen Belastungen höher als die Älteren (Abbildung 4.16). Nur die Bereiche Sehfähigkeit, Feinmotorik/Tastsinn und Bewegungsfähigkeit werden von den über 36-Jährigen stärker bzw. gleich beurteilt.

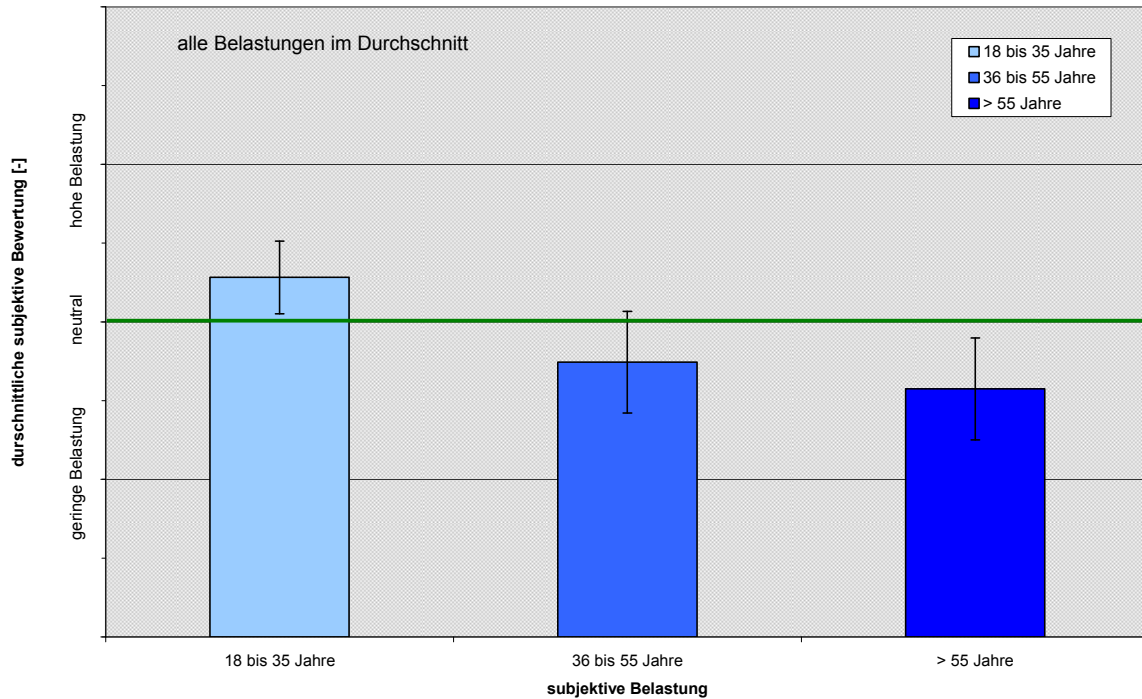


Abb. 4.17 Durchschnittliche subjektive Bewertung der Belastungen

Da in den experimentellen Versuchen die Tätigkeiten mit Winkelschleifern, Akkuschauber und Hochdruckspritzpistole untersucht wurden, sind in der folgenden Abbildung (Abb. 4.18) die Ergebnisse der Befragung für

- Winkelschleifer (Winkelschleifer, Excenterschleifmaschinen, sonstige Schleifmaschinen - 19 Nennungen),
- Bohrmaschinen (Akkuschauber, Bohrer, Schlagschrauber - 18 Nennungen) und
- Spritzpistolen (Farb-Spritzpistolen, Hochdruckreiniger - 6 Nennungen)

aufgeführt.

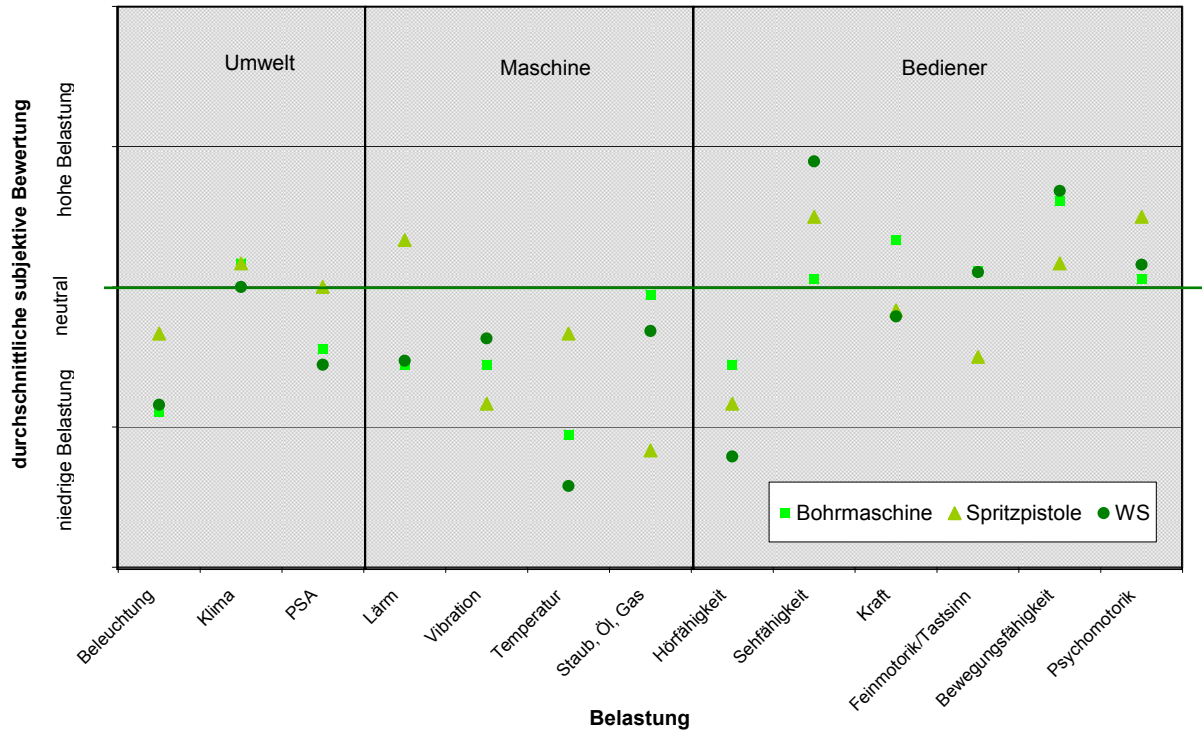


Abb. 4.18 Durchschnittliche Bewertung der subjektiven Belastungen für den Winkelschleifer WS und die Bohrmachine

Bei allen drei Handmaschinen wird die Belastung durch die Umgebung als niedrig bewertet. Die höchsten Belastungen empfanden die Befragten mit Ausnahme der Hörfähigkeit bei den bedienerspezifischen Belastungen (Sehfähigkeit, Kraftanstrengung, Feinmotorik, Bewegungsfähigkeit und Psychomotorik).

Während die Befragten beim Arbeiten mit der Bohrmachine die Belastungsarten Staub, Öl und Gase sowie Kraftanstrengung und Hörfähigkeit als am höchsten von den betrachteten Handmaschinen bewerteten, liegt die Spritzpistole bei der Belastung Beleuchtung, Lärm, Temperatur und Psychomotorik, der Winkelschleifer bei Vibration und Sehfähigkeit in der Belastungshöhe an der Spitze.

5 Experimentelle Versuche zur Ermittlung altersabhängiger Einflussfaktoren¹

Wie in Kapitel 2 ausführlich beschrieben, wurde die altersabhängige Leistungsfähigkeit für verschiedene Faktoren, wie z. B. Körperkraft, Reaktionszeit und Sehfähigkeit bei unterschiedlichen Einzelbelastungen in vielen unterschiedlichen Studien ausführlich untersucht.

Da aber an Arbeitsplätzen multifaktorielle Belastungskombinationen vorherrschend sind, ist davon auszugehen, dass Laborversuche mit Einzelbelastungen nicht geeignet sind, die vorliegende Fragestellung ausreichend zu klären. Es ist also zu vermuten, dass eine multifaktorielle Belastungsuntersuchung, die den tatsächlichen Belastungen am Arbeitsplatz nahe kommt, die gesuchten Zusammenhänge aufzeigen kann.

Da experimentelle Untersuchungen an Arbeitsplätzen (Feldversuche) bekanntermaßen recht aufwendig und schwierig in der Durchführung sind, wurden drei Arbeitsplätze mit handgeführten bzw. handgehaltenen Arbeitsmitteln ausgewählt und ihre in Kombination wirkenden Belastungsfaktoren im Labor simuliert:

- Arbeit mit dem Hochdruckreiniger
- Arbeit mit dem kleinen Winkelschleifer
- Arbeit mit dem Akkuschauber

In der nachfolgenden Tabelle 5.1 sind die einzelnen Belastungsfaktoren für die drei Arbeitsplätze bzw. Untersuchungen und die Gründe für die Auswahl aufgeführt.

Tab. 5.1 Für die experimentelle Untersuchung ausgewählte handgeführte und handgehaltene Arbeitsmittel

Nr.	Arbeitsmittel	Belastung	Grund für die Auswahl
A	Hochdruckreiniger	hohe Greif- und Haltekräfte, Schwingungsbelastung des Hand-Arm-Systems	hohe Andruckkräfte
B	kleiner Winkelschleifer	unergonomischer Griff, Ankopplungskraft, Schwingungsbelastung des Hand-Arm-Systems	erhöhte Unfallhäufigkeit
C	Akkuschauber	Haltearbeit, Schwingungsbelastung des Hand-Arm-Systems, plötzlicher Stopp des Schraubvorgangs (Drehmomentabstützung)	erhöhte Unfallhäufigkeit

Am Standort Dresden der BAuA wurden die Versuche A und B durchgeführt. Es handelte es sich dabei um die Simulation der Bedienung und Handhabung vibrierender Handmaschinen, wie sie bei einem Hochdruckreiniger (Versuch A) und einem

¹ Die Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen basieren teilweise auf Daten, die Eva Disse und Nikesh Buddhdev im Zuge ihrer Dissertation ermittelt haben.

kleinen Winkelschleifer (Versuch B) auftreten können. Die praxisnahe Simulation erfolgte mit Hilfe einer entsprechenden Versuchseinrichtung an einer Hydropulsanlage.

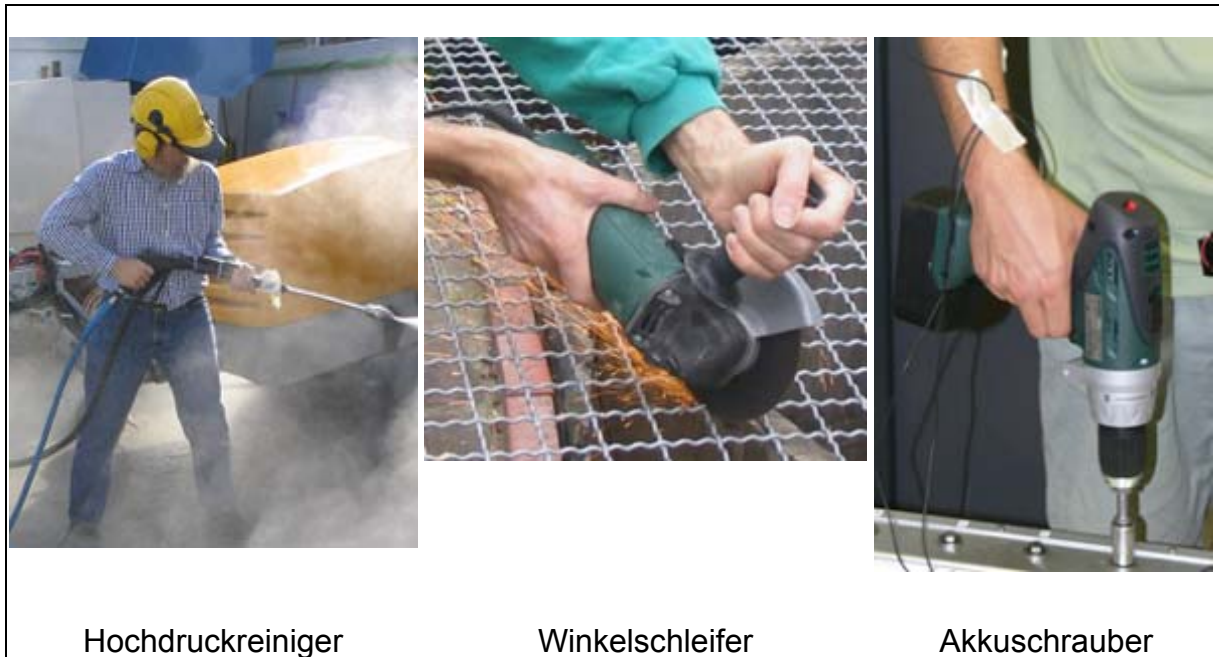


Abb. 5.1 Ausgewählte handgehaltene Arbeitsmittel

Vor Beginn der Versuche war zunächst zu klären, welche Belastungsparameter für die Versuchspersonen der Handhabung und Bedienung der jeweiligen vibrierenden Handmaschine entsprechen würden.

Bei allen drei Versuchen wurde der Expositionsgrenzwert $A(8)$ von 5 m/s^2 aus der EU-Richtlinie 2002/44/EG um mehr als Faktor 10 unterschritten (siehe Tabelle 5.2). Die experimentellen Versuche wurden von der Ethikkommission der Landesärztekammer Rheinland-Pfalz genehmigt.

Tab. 5.2 Expositionsgrenzwerte $A(8)$ für die Schwingungsbelastung in den Versuchen unter Berücksichtigung der Ankopplungskraft F_{cp} (nach DIN V 45679)

	a_{hwz}	T_i	Durchläufe	$T_{i,ges}$	F_{cp}	c_{cp}	$A(8)$
Hochdruckreiniger	4 m/s^2	1/40 h	3	0,075 h	180 N	1,08	$0,42 \text{ m/s}^2$
Winkelschleifer	6 m/s^2	1/30 h	2	0,067 h	90 N	0,88	$0,48 \text{ m/s}^2$
Akkuschrauber	3 m/s^2	1/600 h	3 x 6	0,03 h	< 120 N	1,00	$0,30 \text{ m/s}^2$

Wenn nicht anders angegeben, wurde in den nachfolgenden Diagrammen der Mittelwert (arithmetischer Mittelwert) und der 95%-Vertrauensbereich (VB95 %) eingezeichnet.

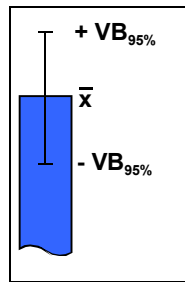


Abb. 5.2 Darstellung des arithmetischen Mittelwerts und des 95%-Vertrauensbereichs in den Grafiken

5.1 Versuchspersonen

5.1.1 Festlegung von Altersgruppen der Versuchspersonen

Zur Charakterisierung von Eigenschaften der Versuchspersonen wurden von ihnen verschiedene anthropometrische Daten, wie Körpergröße, Körpermasse, Unterarmlänge abgenommen und das Lebensalter abgefragt.

Zudem liegen Ergebnisse einer einfachen Befragung der an Versuch B teilnehmenden Versuchspersonen vor. Bei dieser Befragung wurden sie gebeten, einzuschätzen, ob die Belastung, die sie während des Versuches erfahren haben, gemeint ist hier die Belastung ihrer Hand-Arm-Systeme, aus ihrer Sicht für sie normal sei, ob das eine schwere Belastung sei oder ob diese Belastung, der sie sich ausgesetzt sahen, außergewöhnlich ist bzw. war.

Damit standen für eine Auswertung fünf Datensätze zur Verfügung, die miteinander verknüpft werden konnten, vgl. Abschnitte 5.5 und 5.6. Bei der Unterteilung der Datensätze wurde vom Lebensalter der Versuchspersonen ausgegangen. Hier wurde zunächst eine Literaturrecherche betrieben, um Ansätze für eine sinnvolle Unterteilung zu finden.

Ein erster Lösungsansatz konnte in der Verbindung von Sportwissenschaft und Anthropometrie (WASTL 2005) gefunden werden. In der Sportwissenschaft werden in Bezug auf die motorische Entwicklung des Menschen Unterteilungen nach dem Entwicklungsverlauf und den Entwicklungsphasen des Menschen beschrieben. Die dadurch entstehende Altersgruppeneinteilung, z. B. in MEINEL und SCHNABEL (1998) zu finden, unterteilt die Lebensalterstadien nach dem Jugendalter wie folgt:

- von 18 bis 25 Jahren frühes Erwachsenenalter
- von 30 bis 50 Jahren mittleres Erwachsenenalter
- von 50 bis 70 Jahren späteres Erwachsenenalter
- von 70 bis 100 Jahren spätes Erwachsenenalter

Berücksichtigt man diese Altersgruppeneinteilung, verbindet sie mit dem Alter der zur Verfügung stehenden Versuchspersonen und bedenkt das Bewertungsverfahren, dass angewendet werden soll, so muss man zusätzlich beachten, dass in diesem Bewertungsverfahren quadratische Matrizen vom Rang 3,3 verwendet werden. Es sollte sich deswegen also möglichst auch um drei zu betrachtende Altersgruppen handeln.

Hierbei wird darauf verwiesen, dass innerhalb der beiden ersten Mannesalterstadien alle physischen und psychischen Kräfte des Mannes voll ausgebildet sind.

Wie erkennbar ist, fällt offensichtlich den Lebensalterszahlen 18 Jahre, 35 Jahre und 55 Jahre eine gewisse abgrenzende Rolle zu.

Deshalb wurde die Altersgruppeneinteilung nach MEINEL und SCHNABEL (1998) mit den Angaben aus der Literatur und der Forderung des Auswerteverfahrens dergestalt miteinander verknüpft, dass die folgenden drei Altersgruppen entstehen:

- Altersgruppe 1: 18 bis 35 Lebensjahre
- Altersgruppe 2: 35 bis 55 Lebensjahre
- Altersgruppe 3: 55 bis 68 Lebensjahre

Bei einer Überprüfung des Datensatzes Lebensalter der Versuchspersonen stellte sich heraus, dass diese Alterseinteilung für alle experimentellen Versuche in etwa eine Gleichverteilung über alle drei Altersgruppen ergibt.

5.1.2 Alter

An allen Versuchen sollten mindestens 36 Versuchspersonen im Alter von 18 bis 71 Jahren teilnehmen.

Wie im vorigen Abschnitt beschrieben, wurden drei Altersgruppen gebildet:

- 18 bis 35 Jahre
- 36 bis 55 Jahre
- über 55 Jahre

In Tabelle 5.3 sind die Altersverteilung und die Anzahl der Versuchspersonen aufgeführt.

Tab. 5.3 Altersverteilung der Versuchspersonen

Alter	experimentelle Versuche											
	Akkuschrauber				Hochdruckreiniger				Winkelschleifer			
	n	min	Ø	max	n	min	Ø	max	n	min	Ø	max
18 bis 35 Jahre	18	20	25,9	34	15	18	25,6	33	14	19	26,3	32
36 bis 55 Jahre	25	36	43,9	55	11	36	42,4	51	11	36	42,0	53
über 55 Jahre	9	57	62,8	68	14	57	62,8	68	13	57	63,2	71
Summe/Ø	52		41,0		40		43,2		38		43,5	

5.1.3 Erfahrung

Zu Beginn der Untersuchung wurden die Versuchspersonen gebeten, einen Fragebogen auszufüllen (siehe Anlage 2). Neben Fragen zur Gesundheit wurden auch die berufliche Tätigkeit und die Erfahrung im Umgang mit Handgeräten aufgenommen.

Jeder Aussage wurde ein Wert zugeordnet (siehe Tabelle 5.4).

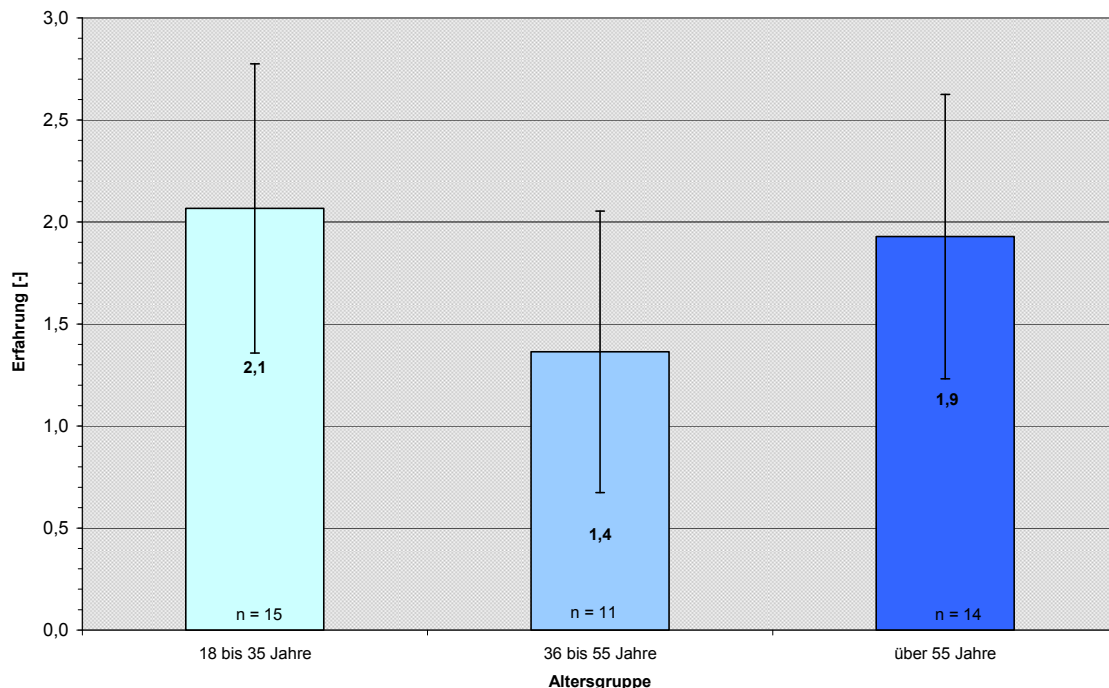
Tab. 5.4 Auswertung zur Erfahrung mit Handgeräten

Frage: - Haben Sie Übung im Umgang mit Akku- oder Druckluftschraubern und - Haben Sie Übung im Umgang mit Bohrmaschinen, -hämmern oder ähnlichen Werkzeugen?				
Aussagen	keine	gelegentlich	oft (Heimwerker)	beruflich (Profi)
Bewertung	0	1	2	3
Wie lange arbeiten Sie dabei durchschnittlich - mit elektrischem Akku- oder Druckluftschrauber - mit einer Bohrmaschine, einem Bohrhammer oder ähnlichen Werkzeugen?				
Aussagen	weniger als einmal im Monat	mehrmals pro Woche	mehrmals am Tag	
Bewertung	0	1	2	

In der Summe können maximal 10 Punkte vergeben werden.

5.1.3.1 Versuch Hochdruckreiniger

Beim Hochdruckreinigerversuch hatten alle Versuchspersonen im Mittel wenig Erfahrung mit Handgeräten (\bar{x} 1,8; siehe Abbildung 5.3).

**Abb. 5.3** Erfahrung mit Handgeräten – Versuch mit dem Hochdruckreiniger

Tendenziell die wenigsten Erfahrungen hatte die Altersgruppen 2 vorzuweisen (AG2: 1,4; AG1: 2,1; AG3: 1,9).

5.1.3.2 Versuch Winkelschleifer

Auch beim Versuch „Winkelschleifer“ haben die Teilnehmer weitgehend gleiche Erfahrungen im Umgang mit Handmaschinen (AG1: 2,8; AG2: 2,4; AG3: 2,9). Im Durchschnitt liegt der Erfahrungswert bei 2,7 und damit deutlich höher als im Versuch „Hochdruckreiniger“ mit 1,8 (Abbildung 5.4).

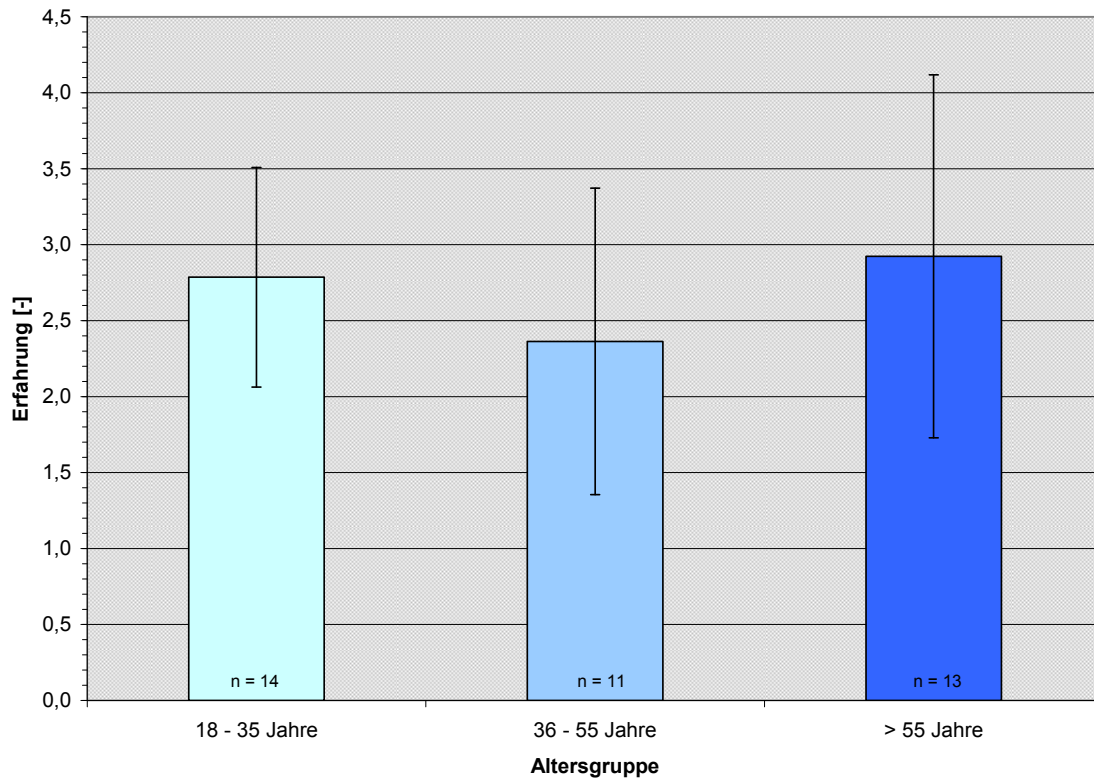


Abb. 5.4 Erfahrung mit Handgeräten – Versuch mit dem Winkelschleifer

5.1.3.3 Versuch Akkuschauber

Die Teilnehmer am Versuch mit dem Akkuschauber hatten im Mittel die höchsten Erfahrungen (\bar{x} 3,0).

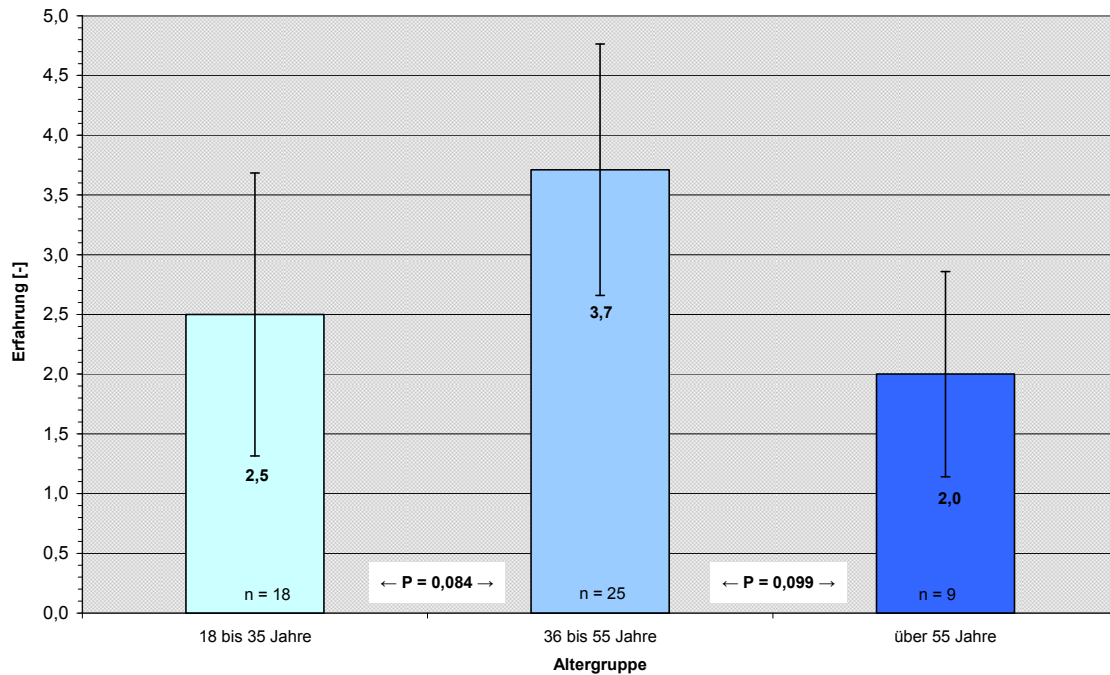


Abb. 5.5 Erfahrung mit Handgeräten – Versuch mit dem Akkuschauber

Im Gegensatz zu den beiden anderen Versuchen, bei denen die Altersgruppen 2 den niedrigsten Erfahrungswert besitzt, hat hier die Altersgruppen 2 den höchsten Erfahrungswert aufzuweisen (Abb. 5.5).

5.1.4 Körpermaße

Die Körpermaße (Körpergewicht, Körpergröße) der teilnehmenden Versuchspersonen sind in den folgenden zwei Tabellen aufgeführt:

Tab. 5.5 Körpergewicht der Versuchspersonen

Körpergewicht	experimentelle Versuche											
	Akkuschauber				Hochdruckreiniger				Winkelschleifer			
	Altersgruppe	n	min	Ø	max	n	min	Ø	max	n	min	Ø
18 bis 35 Jahre	18	62	82,9	125	15	62	79,0	96,5	14	60	78,1	95
36 bis 55 Jahre	25	60	83,8	112	11	71	89,1	103	11	70	88,4	104
über 55 Jahre	9	74	88,1	111	14	69	84,1	102	13	65	80,6	88

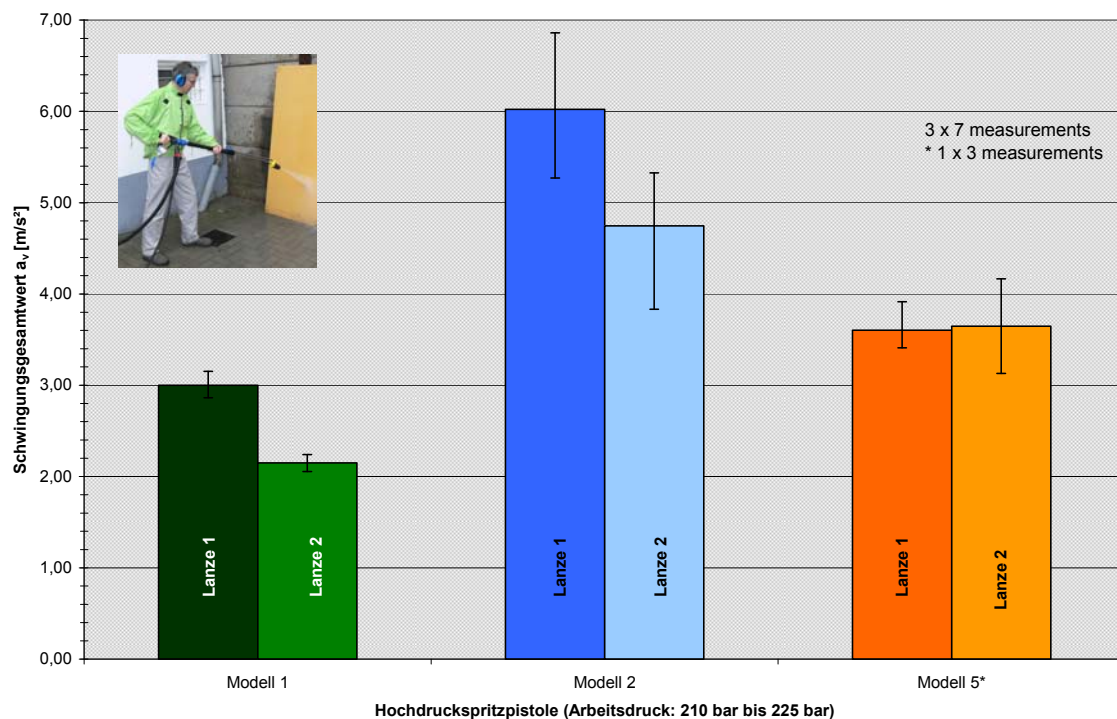
Tab. 5.6 Körpergröße der Versuchspersonen

Körpergröße	experimentelle Versuche											
	Akkuschrauber				Hochdruckreiniger				Winkelschleifer			
	Altersgruppe	n	min	Ø	max	n	min	Ø	max	n	min	Ø
18 bis 35 Jahre	18	167	182,8	197	15	174	181,6	191	14	174	180,7	190
36 bis 55 Jahre	25	170	181,2	194	11	171	181,1	192	11	168	181,3	193
über 55 Jahre	9	171	179,1	190	14	166	174,4	184	13	166	173,3	182

5.2 Experimentelle Versuche – Hochdruckreiniger

5.2.1 Ermittlung der Belastungsparameter

Vibrationsmessungen an Griffen von Hochdruckreinigern ergaben in Abhängigkeit von der Düse (Rotationsdüse) und des Betriebsdrucks (210 bis 225 bar) der Pumpe Schwingungsgesamtwerte von bis zu 6 m/s² (im Durchschnitt 4 m/s²).

**Abb. 5.6** Schwingungsbelastung bei Hochdruckreinigern

Die Arbeitskraft beim Arbeiten mit dem Hochdruckreiniger (= Gesamt-Ankopplungskraft) setzt sich aus der Rückstoßkraft und der Betätigungskraft des Auslösehebels zusammen. Die Rückstoßkraft kann bei einem Betriebsdruck von 210 Bar mit mindestens 150 N berechnet werden.

In Abbildung 5.7 ist der Kraftverlauf beim Betätigen des Hochdruckreinigers dargestellt.

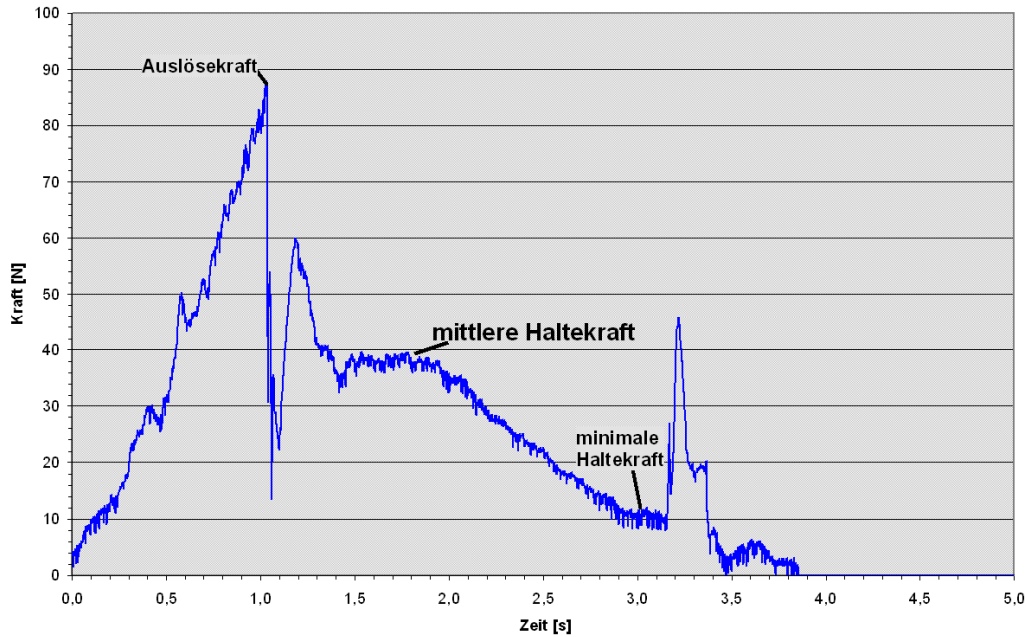


Abb. 5.7 Kraftverlauf beim Betätigen des Hochdruckreinigers

Die Kraft am Auslösehebel nimmt kontinuierlich zu, bis das Ventil öffnet (= Auslösekraft). Kurz nachdem die minimale Haltkraft (des Auslösehebels) erreicht wurde, steigt die Kraft sprunghaft an und das Ventil schließt wieder. Bei der Arbeit mit dem Hochdruckreiniger wird jedoch eine höhere (mittlere) Haltekraft eingesetzt. Sie liegt bei ca. 40 bis 50 N.

Die Auslösekraft und die minimalen Haltekraft verschiedener Hochdruckreiniger sind in Abbildung 5.8 dargestellt.

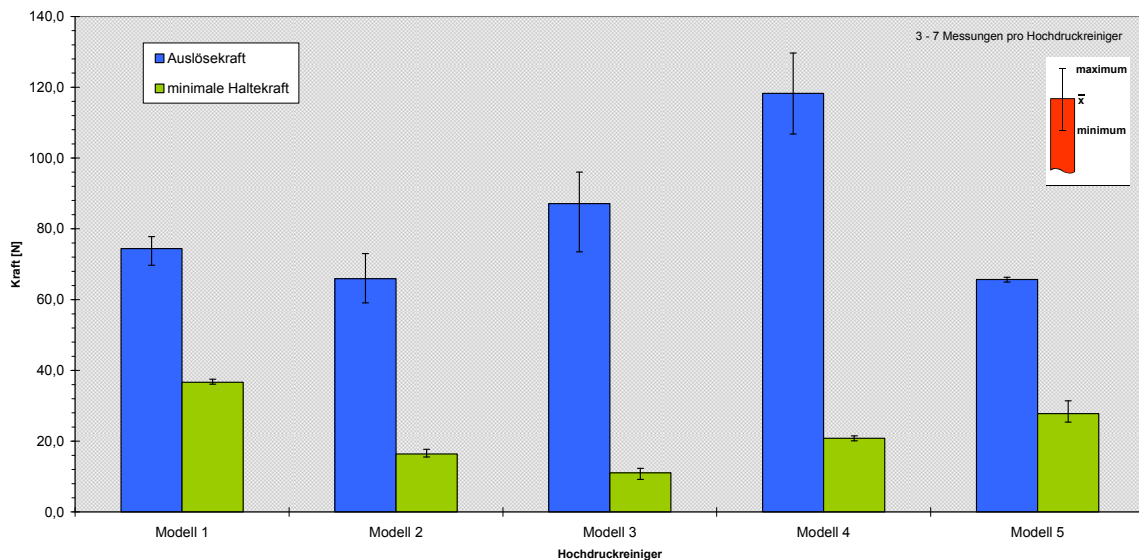


Abb. 5.8 Auslösekräfte und Haltekraft bei Hochdruckreiniger

Insgesamt ist mit einer Gesamt-Ankopplungskraft von mindestens 200 N zu rechnen.

5.2.2 Methodik

Aus Schwingungsmessungen an Hochdruckreinigern von GILLMEISTER und RIEDEL 2007 ist bekannt, dass für diese Geräte eine breitbandige Erregung anzuwenden ist. Nach Vergleichen mit KINNE et al. wurde entschieden, dass für einen Hochdruckreiniger zur Simulation seiner Bedienung und Handhabung die dort verwendete Messeinrichtung, siehe Abbildung 5.9, anwendbar ist.

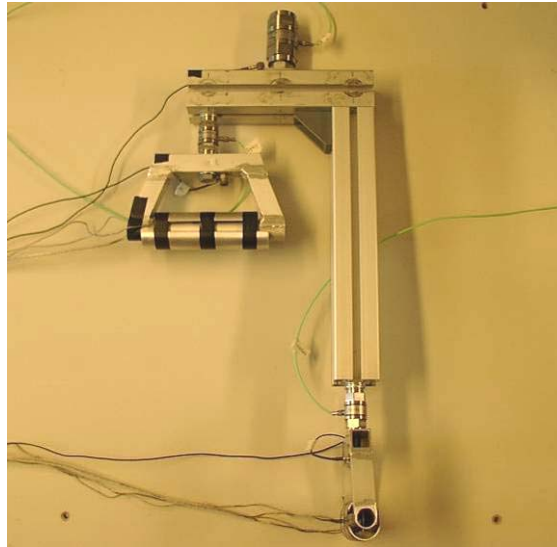


Abb. 5.9 Handgriffe mit Messeinrichtung zur Handkräfteermittlung

Die Nutzung der Messeinrichtung am Versuchsstand zeigt die Abbildung 5.10.



Abb. 5.10 Versuchsstand Simulation Hochdruckreiniger

Weiterhin wurde entschieden, den in KINNE et al. verwendeten Schwingungsbelastungsparameter:

weißes Rauschen mit einem a_{hwz} Wert von 4 m/s^2

ebenfalls zu verwenden.

Die Handandruckkraft F_{fe} des rechten Hand-Arm-Systems wurde ausgehend von realen Messungen, vgl. Abb. 5.8, auf den hohen Wert von 120 N festgelegt. Das linke Hand-Arm-System sollte eine Handandruckkraft von 60 N aufbringen.

Das bedeutet, dass die Gesamt-Ankopplungskraft $F_{fe,ges}$ beider Hände der Versuchspersonen nach

$$\text{Formel 1: } F_{fe,ges} = F_{fe,rechts} + F_{fe,links} \quad (5.1)$$

zusammengenommen 180 N beträgt.

Der Grund für die Festlegung einer solch hohen Andruckkraft war, dass diese Versuche bis an den Rand der Krafterschöpfung der Handkräfte der Versuchspersonen gehen sollten. Trotzdem musste die Expositionsdauer aufgrund der extremen Handandruckkraft auf 90 s pro Versuch verkürzt werden. Insgesamt wurden drei Versuchsdurchläufe ausgeführt.

Die Versuchspersonen sollten ihr Hauptaugenmerk auf die Realisierung der Handandruckkraft richten und nicht auf die Greifkraft achten. Letztere wird durch dieses Verhalten gering gehalten.

Jede Versuchsperson hatte die Möglichkeit, bei drohender Krafterschöpfung den Versuch abubrechen, was jedoch in keinem Fall geschah.

Die unterschiedlichen Körpergrößen der Versuchspersonen wurden mit Unterlagen am Aufstellort ausgeglichen.

Jeweils vor und nach Exposition werden der Blutdruck, die Pulsfrequenz (Beurer Fitness Puls-Mess-Uhr mit Handschuh PM100) und die maximale Greifkraft der Versuchsperson gemessen. Die Erfassung der maximalen Greifkraft erfolgt mit einem Hand-Dynamometer (Jamar hydraulisches Dynamometer, MSD Europe) (Abb. 5.11). Dabei wird dreimal im Wechsel die maximale Greifkraft der dominanten und der nicht-dominante Hand bei ausgestrechtem Arm gemessen.



Abb. 5.11 Hand-Dynamometer Jamar (MSD Europe)/Fingerpuls-Messuhr PM 100

Zusätzlich wird vor und nach der Exposition ein Aufmerksamkeitstest (d2-Test) durchgeführt: Der Test d2 (Aufmerksamkeits-Belastungs-Test) ist ein psychologischer Test mit Papier und Bleistift zur Bewertung der Aufmerksamkeit (Konzentration). Der Test besteht aus den Buchstaben d und p, welche in 13 Reihen zu je 47 Zeichen angeordnet sind und oben und/oder unten mit 1 bis 4 Strichen markiert sind. innerhalb von 20 Sekunden hat der Proband die Aufgabe, in jeder Reihe möglichst viele der mit 2 Strichen markierten d durchzustreichen und dabei weder Auslassungs- noch Verwechslungsfehler zu produzieren: Weder ein d, das mehr oder weniger als zwei Striche hat, darf nicht durchgestrichen werden noch ein p, unabhängig davon mit wie vielen Strichen es markiert ist.

Der Untersucher erklärt ausführlich die Testdurchführung und fordert dazu auf, so schnell wie möglich aber natürlich auch ohne Fehler zu arbeiten. Zunächst wird eine Testzeile bearbeitet. Anschließend gibt der Untersucher das Startsignal und fordert jeweils nach 20 Sekunden mit „Halt, nächste Zeile“ zum Wechsel zur nächsten Zeichenreihe auf.

Das Leistungsmaß berechnet sich wie folgt:

- Gesamtzahl bearbeiteter Zeichen,
- Auslassungsfehler (kommen häufig vor),
- Verwechslungsfehler (kommen selten vor),
- Leistungsmaß = Gesamtzahl - Fehler (fehlerbereinigte Gesamtmenge).

Daraus ergeben sich für den Versuch A (Hochdruckreiniger) folgende Belastungsparameter und Beanspruchungsindikatoren:

- Belastung
 - 2 Handandruckkräfte, Schwingungsexposition
- Beanspruchung
 - Blutdruck, Pulsfrequenz, maximale Greifkraft beider Hände, d2 Test

5.2.3 Ergebnisse – vor Beginn der Exposition

5.2.3.1 Maximale Greifkraft F_{gr}

Abbildung 5.12 zeigt die maximale Greifkraft F_{gr} der drei Altersgruppen für die dominante und die nicht dominante Hand (3 Linkshänder im Versuchspersonenkollektiv).

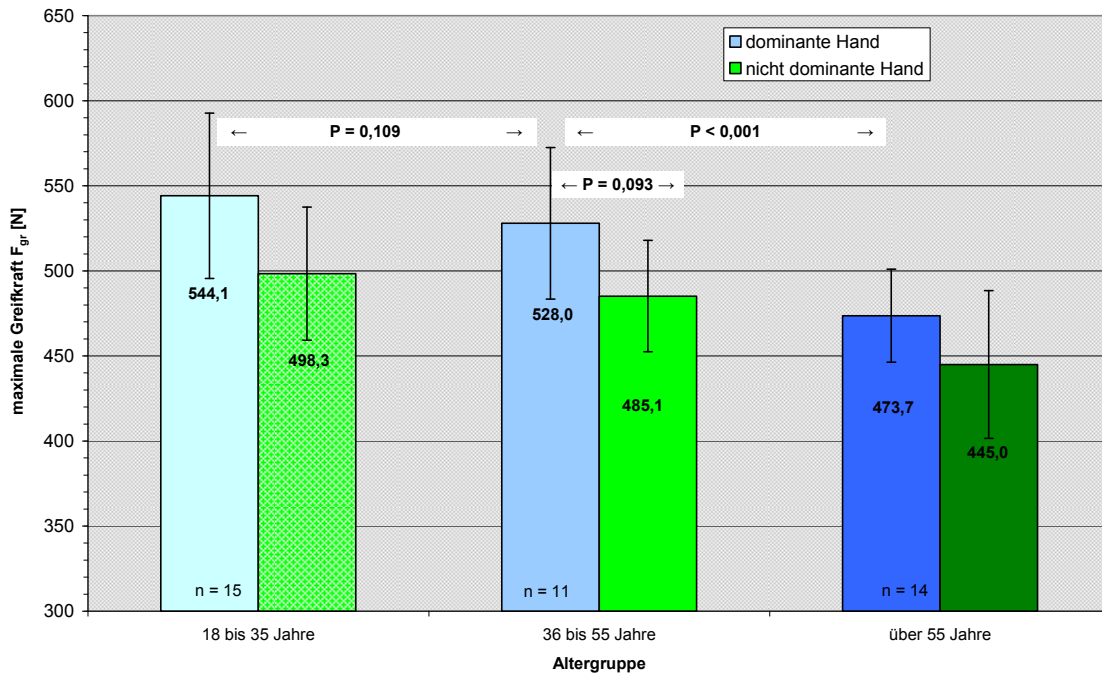


Abb. 5.12 Maximale Greifkraft F_{gr} der dominanten Hand (höchster Wert von drei Durchläufen)

Die Greifkraft der beiden jüngeren Altersgruppen ist signifikant größer als die der Altersgruppe über 55 Jahre. Im Durchschnitt ist die maximale Greifkraft F_{gr} der nicht dominanten Hand geringer als die der dominanten Hand.

5.2.3.2 Pulsfrequenz

Vor Expositionsbeginn wurde an der rechten und an der linken Hand die Pulsfrequenz gemessen. Wie in Abbildung 5.13 ersichtlich ist (Mittelwert aus Messung an der rechten und linken Hand), weisen die ältesten Probanden mit 66,5 Schlägen pro Minute signifikant die niedrigste Pulsfrequenz auf ($P = 0,014$).

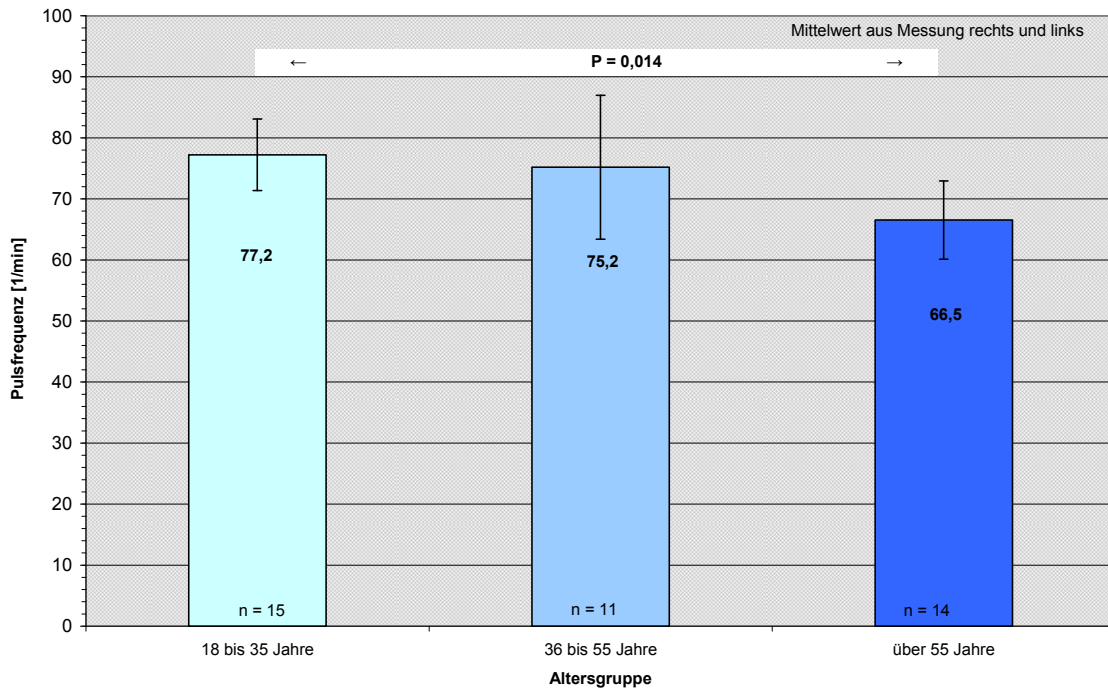


Abb. 5.13 Pulsfrequenz vor Exposition (Mittelwert aus Messung rechts und links)

5.2.3.3 Blutdruck

Während beim systolische Blutdruck zwischen den Altersgruppen kein Unterschied auszumachen ist (AG 1: 130 Hgmm; AG 2: 132 Hgmm; AG 3: 131 Hgmm), wurde bei der Altersgruppe 2 (36 bis 55 Jahre) mit 80,7 Hgmm ein signifikant höherer Blutdruck gemessen ($P = 0,048$) als in der Altersgruppe 1 (bis einschließlich 35 Jahre) mit 78,8 Hgmm. Die Altersgruppe 3 liegt mit 78,1 Hgmm dazwischen (Abbildung 5.14).

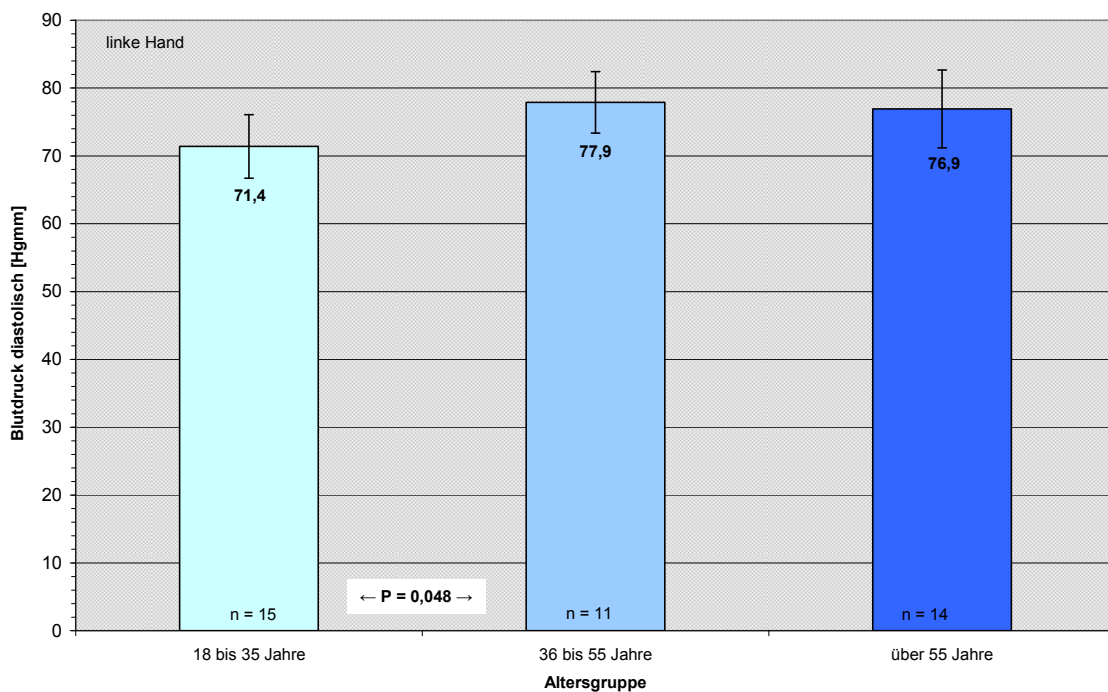


Abb. 5.14 Diastolischer Blutdruck vor der Exposition

5.2.3.4 d2-Test

Das beste Ergebnis im d2-Test liefern die Altersgruppen 1 und 2 mit 362 bzw. 355 Punkten. Die Altersgruppe 3 liegt mit 280 Punkten signifikant darunter (Abb. 5.15).

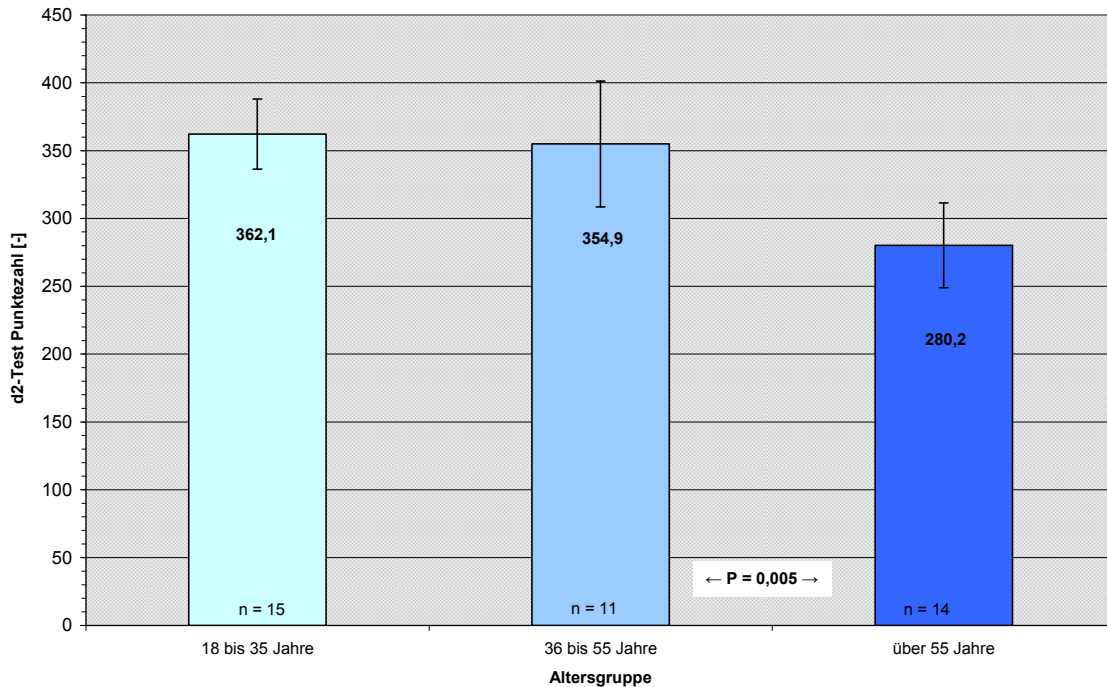


Abb. 5.15 Ergebnisse für den d2-Test

5.2.4 Ergebnisse – nach der Exposition

5.2.4.1 Maximale Greifkraft F_{gr}

Bei allen drei Altersgruppen hatte die dreimal 90 s dauernde Schwingungs- und Greifkraft-Exposition keinen Einfluss auf die maximale Greifkraft F_{gr} (Abbildung 5.16). Versuchspersonen mit hohen Greifkräften hatten auch am Ende der Versuche keine reduzierte Greifkraft.

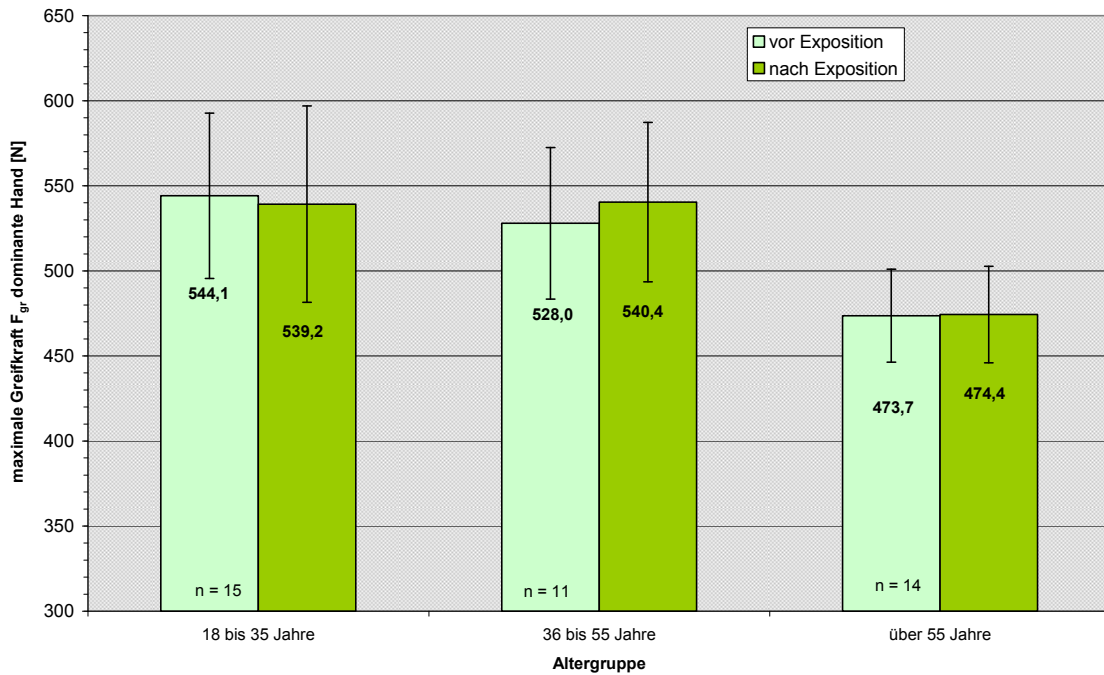


Abb. 5.16 Maximale Greifkraft F_{gr} zu Beginn und am Ende des Versuchs (höchster Wert von drei Durchläufen)

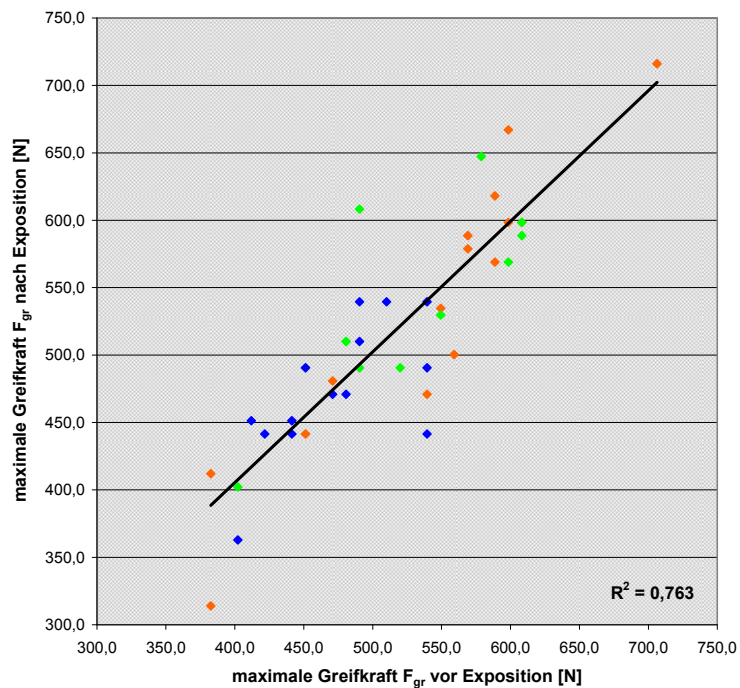


Abb. 5.17 Vergleich der maximalen Greifkraft F_{gr} vor und nach der Exposition

5.2.4.2 Blutdruck

Nach Abschluss der Exposition kann bei allen Versuchspersonen im Durchschnitt eine Zunahme des diastolischen Blutdrucks der linken Hand beobachtet werden. Bei den ältesten Versuchspersonen nimmt der Blutdruck am stärksten (+ 5,2 Hgmm), bei der Altersgruppe 1 am wenigsten (+ 0,9 Hgmm) zu (Abbildung 5.18).

Die Blutdruckzunahme ist zwischen den Altersgruppen jedoch nicht signifikant (Abbildung 5.19).

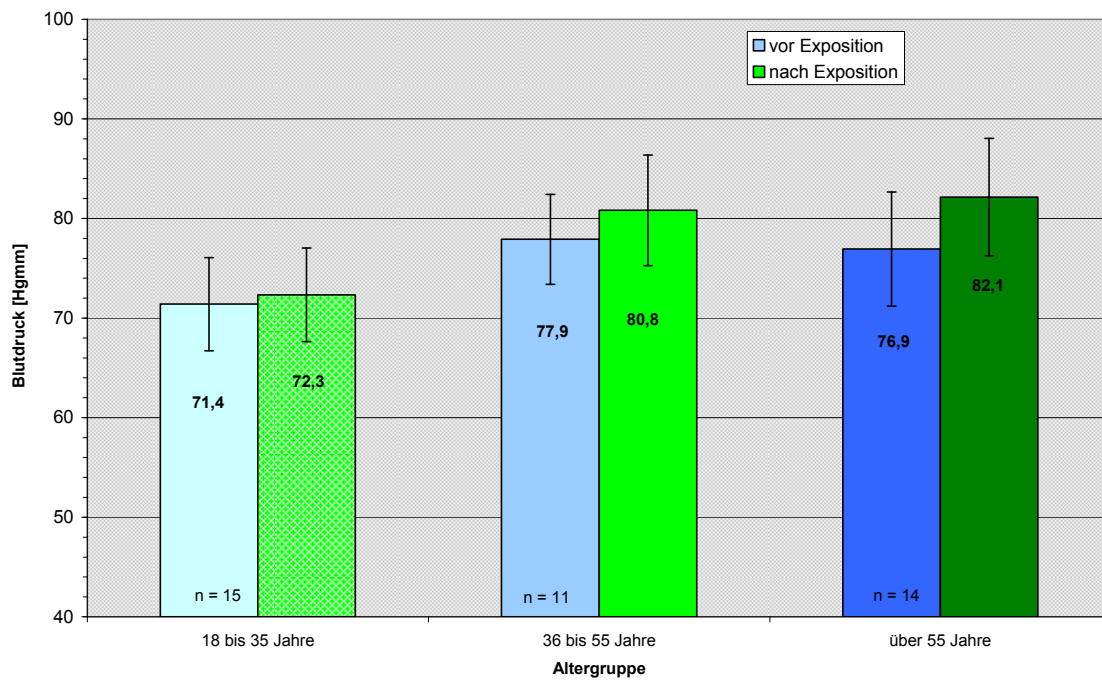


Abb. 5.18 Diastolischer Blutdruck zu Beginn und am Ende des Versuchs

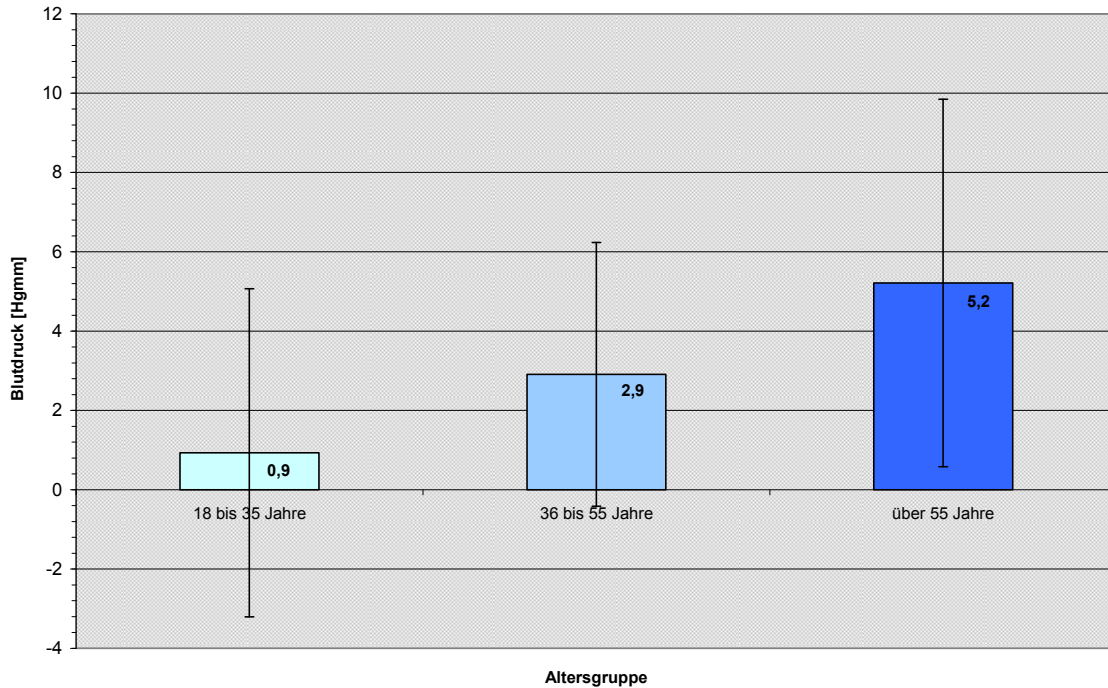


Abb. 5.19 Differenz zwischen dem diastolischen Blutdruck zu Beginn und am Ende des Versuchs

5.2.4.3 Pulsfrequenz

Während des kompletten Versuchsdurchgangs wurde die Pulsfrequenz an der rechten Hand gemessen. In Abbildung 5.20 sind die Messwerte und ihr Verlauf dargestellt.

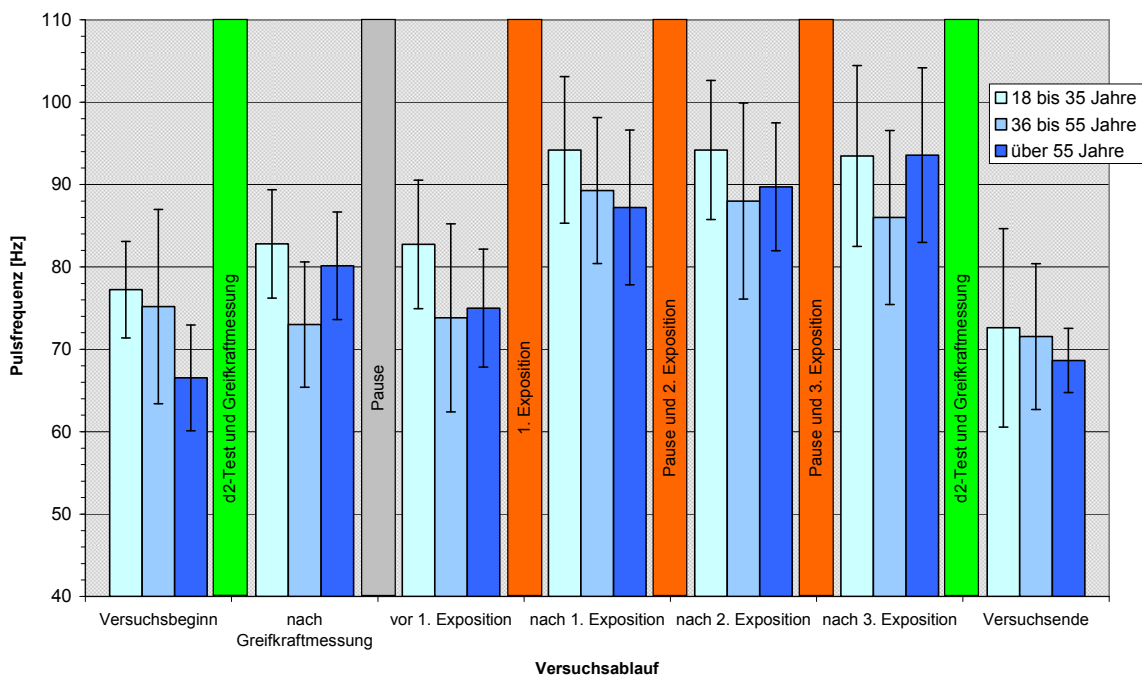


Abb. 5.20 Verlauf der Pulsfrequenz während des kompletten Versuchs

Der Verlauf der Pulsfrequenz lässt sich wie folgt beschreiben (Abbildung 5.21):

- Nach dem d2-Test und der Greifkraftmessung steigt die Pulsfrequenz in der Altersgruppe 1 und 3 an.
- Nach der Pause erholt sich die Pulsfrequenz der Altersgruppe 3.
- Die erste Exposition führt zu einer starken Erhöhung der Pulsfrequenz bei allen Altersgruppen.
- Während die Pulsfrequenz der 1. und die 2. Altersgruppe nach der 2. und 3. Exposition auf dem gleichen Niveau verharrt bzw. leicht abnimmt, steigt sie bei der 3. Altersgruppe noch kontinuierlich an.
- Nach abschließendem d2-Test und Greifkraftmessung sinkt die Pulsfrequenz bei allen drei Altersgruppen auf ein fast einheitliches Niveau.

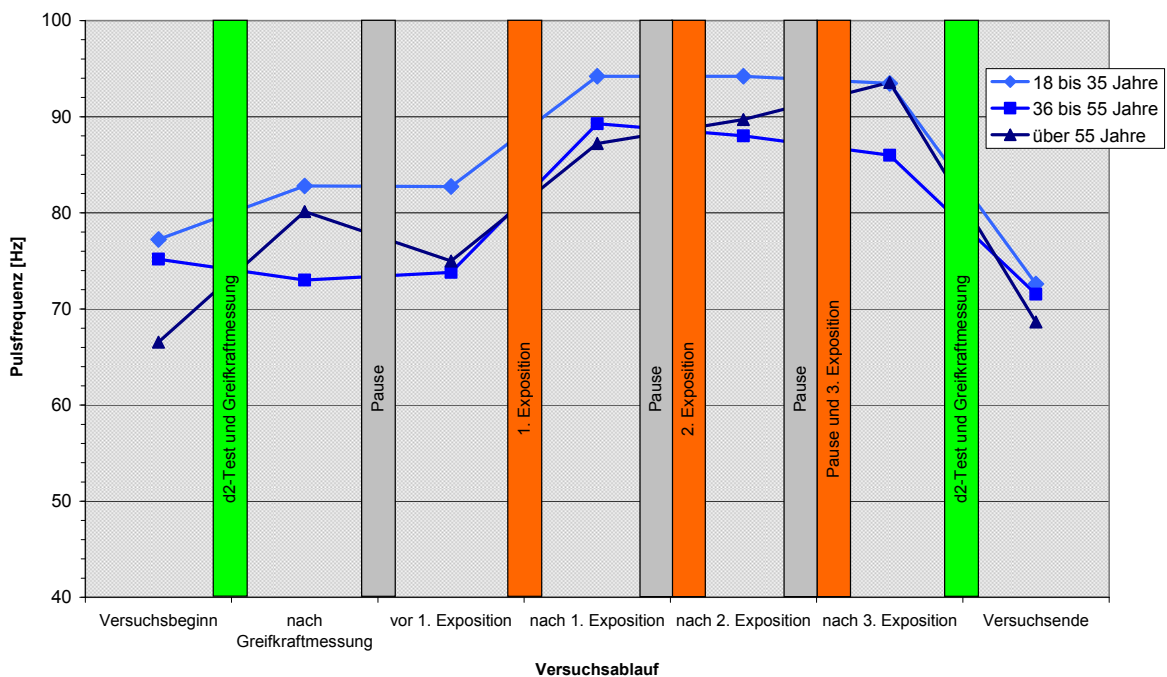


Abb. 5.21 Verlauf der Pulsfrequenz während des kompletten Versuchs

5.2.4.4 d2-Test

Die Exposition hat bei allen Versuchsteilnehmern zu einer psychischen Leistungssteigerung geführt (Abb. 5.22). Im Mittel konnten die Versuchspersonen eine über 10 % höhere Punktzahl erreichen. Für die 3. Altersgruppe ist dieser Anstieg signifikant ($P = 0,012$).

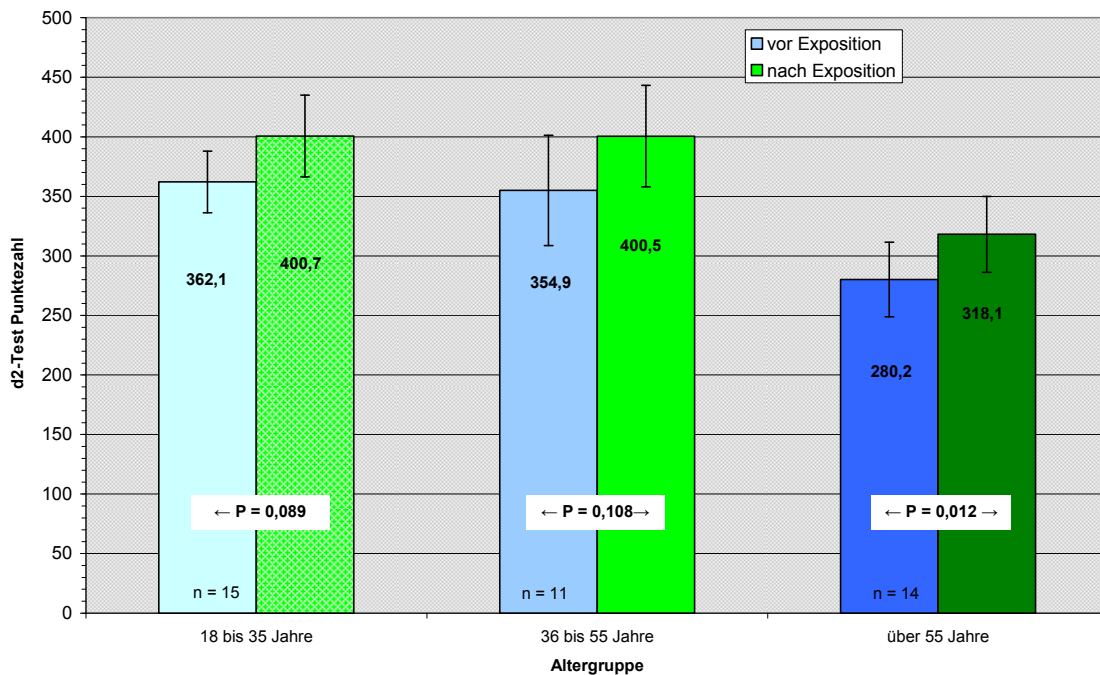


Abb. 5.22 Versuchsergebnis des d2-Tests zu Beginn und am Ende des Versuchs

5.2.5 Diskussion

5.2.5.1 Pulsfrequenz

Die Messung der Pulsfrequenz (siehe Abbildung 5.7) hat gezeigt, dass die älteren Versuchspersonen den Versuch mit einer geringeren Pulsfrequenz starten als die Jüngeren. Hieraus kann der Schluss gezogen werden, dass die Älteren mit der Versuchssituation, die durch den unbekanntem Ort, unbekannte Personen hervorgerufen wird, gelassener umgehen können. Die Nervosität der Jüngeren scheint sich jedoch sehr schnell zu legen. Die ist am Unterschied der Pulsfrequenz zwischen der rechten und der linken Hand ersichtlich (Abbildung 5.23).

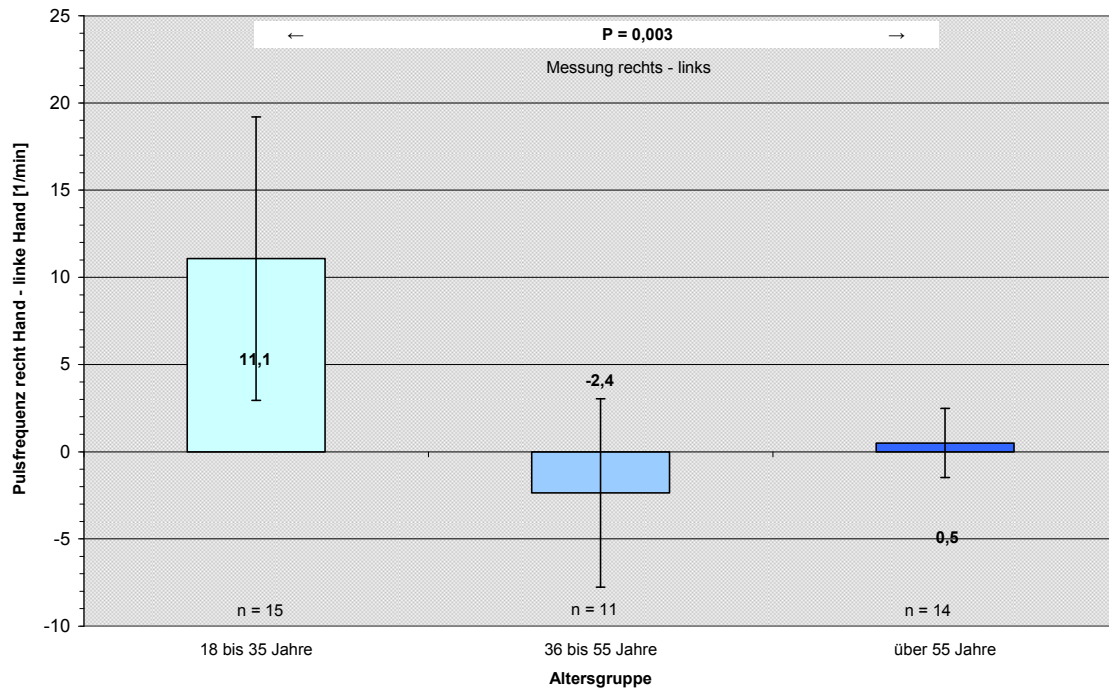


Abb. 5.23 Differenz der Pulsfrequenz der rechten Hand minus der linken Hand

Bei allen Versuchspersonen wurde die Pulsfrequenz immer erst an der rechten Hand und dann an der linken Hand gemessen. Bei der Altersgruppe 1 nimmt die Pulsfrequenz von der rechten zur linken Hand deutlich ab (im Durchschnitt um 11 Schläge pro Minute).

Es zeigt sich also, dass es mit Hilfe der Pulsfrequenz nicht möglich ist, zwischen psychischer und physischer Beanspruchung zu unterscheiden.

Wird die Pulsfrequenz der Versuchspersonen zu Beginn des Versuchs auf 100 % gesetzt, zeigt sich der in Abbildung 5.24 dargestellte Pulsfrequenzverlauf.

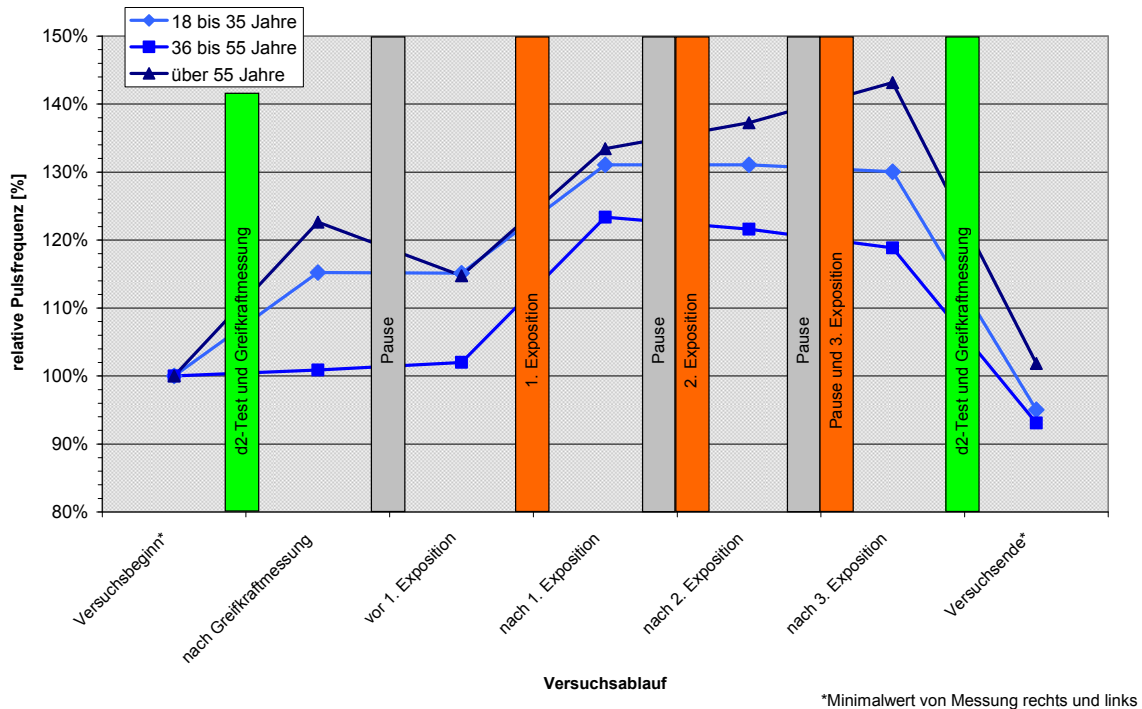


Abb. 5.24 Relativer Pulsfrequenzverlauf (Versuchsbeginn und -ende: Mittelwert aus der Messung der rechten und der linken Hand)

Die Belastung mit dem Versuch A (Hochdruckreiniger) führt bei der Altersgruppe 3 zu einer leichten Zunahme der Pulsfrequenz (102 %). Dagegen nimmt bei den Altersgruppen 1 und 2 die Pulsfrequenz zum Ende des Versuchs ab (95 %, 93 %). Einen Einfluss der Erfahrung auf die untersuchten Parameter (Blutdruck, Puls) konnte nicht nachgewiesen werden.

5.2.5.2 Leistungsfähigkeit (subjektiv)

Die verwendeten Beanspruchungsindikatoren ergeben in der Auswertung für diesen Versuch kein eindeutiges Bild, das zu einer Einschätzung und damit zu einem Vergleich der Leistungsfähigkeit der Versuchspersonen führen könnte. Dies wurde schon während der Versuchsdurchführung klar. Aus diesem Grund wurde zusätzlich eine Befragung der Versuchspersonen mit einem dreistufigen Raster zur Leistungserfassung durchgeführt.

Am Ende des Versuchs wurden die Versuchspersonen gefragt, wie sie den durchgeführten Versuch einschätzen würden. Wie in Abbildung 5.25 ersichtlich, hat die Mehrzahl der Teilnehmer aus der Altersgruppe 3 die Belastung als „normal anstrengend“ eingeschätzt. Dagegen wurde in den beiden anderen Altersgruppen am häufigsten „die Belastung ist schwer“ genannt.

Auf der anderen Seite fiel in der Altersgruppe mit den ältesten Teilnehmern auch die Aussage „Belastung ist außergewöhnlich hoch“ am häufigsten.

Die abschließende Befragung zeigt, dass bei den teilnehmenden Versuchspersonen die Leistungsfähigkeit in der Gruppe der über 55-Jährigen eine große Bandbreite hat. Interessant ist im Hinblick auf das Ziel der Untersuchungen auf jeden Fall, dass über 30% der Altersgruppe 3 die Aussage „normale Anstrengung“ angeben. In Abschnitt 1 wurde die Vermutung geäußert, dass das Altern des Menschen nicht zwangsläufig

zu einer eingeschränkten Leistungsfähigkeit führen muss, sondern diese durch verschiedene Co-Faktoren durchaus bis zum Ende der Lebensarbeitszeit erhalten bleiben kann. Möglicherweise ist dieses Ergebnis ein erster Hinweis auf die Richtigkeit der Vermutung.

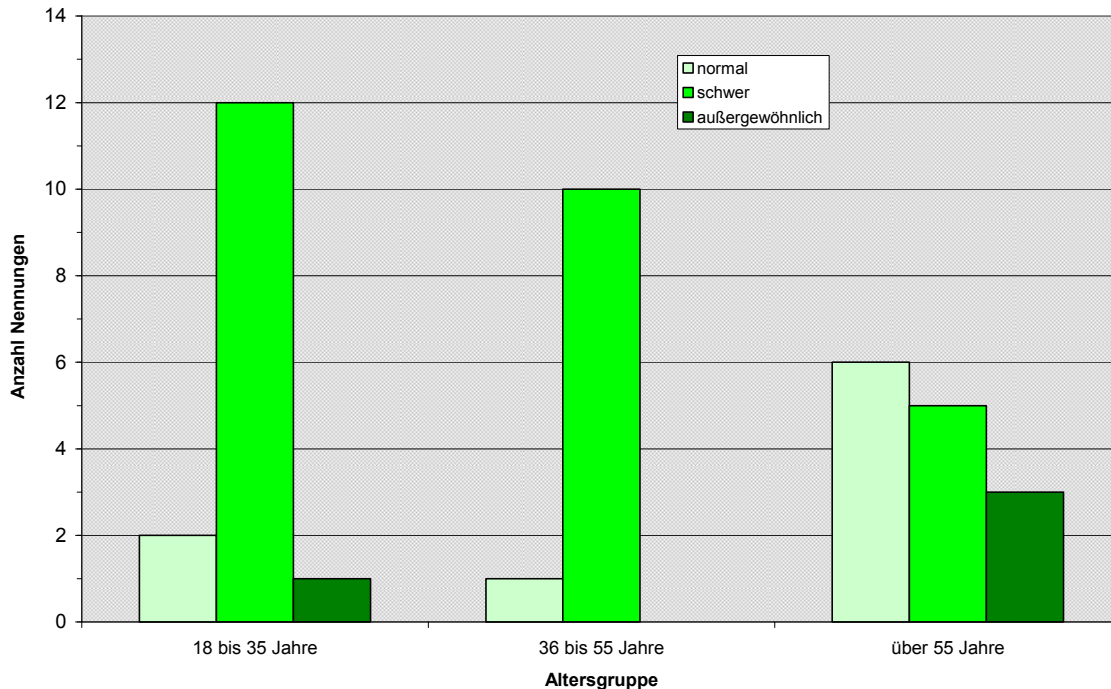


Abb. 5.25 Subjektive Einschätzung des experimentellen Versuchs A „Hochdruckreiniger“

In der nachfolgenden Tabelle 5.7 wurde die relative Häufigkeit der Änderung der Beanspruchungsindikatoren Pulsfrequenz und Blutdruck nach der Exposition aufgelistet.

Tab. 5.7 Änderung der Pulsfrequenz und des Blutdrucks nach der Exposition: Prozentuale Verteilung

Änderung	Alter 18 bis 35 Jahre		Alter 36 bis 55 Jahre		Alter > 55 Jahre	
	reduziert	erhöht*	reduziert	erhöht	reduziert	erhöht
Pulsfrequenz	73 %	27 %	64 %	36 %	37 %	63 %
Blutdruck	47 %	53 %	36 %	64 %	21 %	79 %

* erhöht und gleich geblieben

Geht man davon aus, dass beide Beanspruchungsindikatoren auch eine Aussage über die Leistungsfähigkeit der Versuchspersonen erlauben, so ist festzustellen dass die Anzahl der leistungsfähigen Versuchspersonen, also der Personen mit niedriger Pulsfrequenz und niedrigem Blutdruck in der Altersgruppe 1 am höchsten ist. Dieser Anteil sinkt dann bis zur Altersgruppe 3 ab und bleibt im Mittel beider Indikatoren bei einer Personenzahl von 30%. Festzustellen ist dabei aber, dass beide Indikatoren nur tendenziell in der Aussage übereinstimmen. Dies korrespondiert auffallend mit dem Ergebnis der Befragung.

5.3 Experimentelle Versuche – Winkelschleifer

5.3.1 Einleitung

Für die Auswahl eines geeigneten Handwinkelschleifers wurde zunächst eine Recherche zu diesen Handmaschinen durch Abfragen von Herstellerangaben ausgeführt. Ziel war es, Abhängigkeiten zwischen Maschinenkörperdurchmessern, Leerlaufdrehzahlen und Schleifscheibendurchmessern zu ermitteln. Ziel war es nicht, ein vollständiges Herstellerverzeichnis zu erstellen. Das Ergebnis kann Abb. 5.26 entnommen werden.

lfd.-Nr.	Typ	Nennaufnahme [W]	Scheiben \varnothing [mm]	Leerlaufdrehzahl n_{Leer} [u/min]	Drehfrequenz $f(n_{\text{Leer}})$ [Hz]	Masse [kg]	WSM wird gehalten am
1	L 3709 / 115	750	115	10.000	167	1,8	Gehäuse
2	BT-AG 850	850	125	11.500	192	2,4	Gehäuse
3	UWF 8-R	1.000	k.A.	3.300 bis 8.000	133	k.A.	integrierten Handgriff
4	W 10-150 Quick	1.010	150	9.000	150	k.A.	Gehäuse
5	KG 1200	1.200	125	10.000	167	k.A.	Gehäuse
6	WS 12-125 MX	1.200	125	11.000	183	2,5	integrierten Handgriff
7	WSG 14-70E	1.200	125	2.500 bis 7.000	117	2,2	Gehäuse
8	M 1200 A	1.200	150	9.500	158	2,5	integrierten Handgriff
9	WE 14-125 Plus	1.400	125	7.000 bis 10.500	175	1,9	Gehäuse
10	WE 14-150 Plus	1.400	150	6.000 bis 9.000	150	1,9	Gehäuse
11	GWS 14-125 Inox	1.400	125	2.200 bis 7.500	125	2,2	Gehäuse
12	L 1710 FRA	1.400	125	9.000	150	2,4	Gehäuse
13	UWM 8	1.800	k.A.	8.000	133	k.A.	integrierten Handgriff
14	WSB 25-180 X	2.500	180	8.500	142	5,4	integrierten Handgriff
15	L 3206 CD	2.500	230	6.500	108	6,2	integrierten Handgriff

Abb. 5.26 Ausgewählte Winkelschleifmaschinen (WSM) nach Katalog-Recherche

Aus dieser Übersicht ist ein Zusammenhang zwischen Leerlaufdrehzahl und Schleifscheibendurchmesser zu erkennen. Um diesen besser erfassen zu können, wurde die Darstellung nach Abbildung 5.27 entwickelt.

Leerlaufdrehzahl n_{Leer} [u/min]	Scheiben \varnothing [mm]	Nennaufnahme [W]	Drehfrequenz $f(n_{\text{Leer}})$ [Hz]	Masse [kg]	WSM wird gehalten am
6.500	230	2.500	108	6,2	integrierten Handgriff
7.000	125	1.200	117	2,2	Gehäuse
7.500	125	1.400	125	2,2	Gehäuse
8.000	k.A.	1.000	133	k.A.	integrierten Handgriff
8.000	k.A.	1.800	133	k.A.	integrierten Handgriff
8.500	180	2.500	142	5,4	integrierten Handgriff
9.000	150	1.010	150	k.A.	Gehäuse
9.000	150	1.400	150	1,9	Gehäuse
9.000	125	1.400	150	2,4	Gehäuse
9.500	150	1.200	158	2,5	integrierten Handgriff
10.000	115	750	167	1,8	Gehäuse
10.000	125	1.200	167	k.A.	Gehäuse
10.500	125	1.400	175	1,9	Gehäuse
11.000	125	1.200	183	2,5	integrierten Handgriff
11.500	125	850	192	2,4	Gehäuse

Abb. 5.27 Zusammenhang zwischen Leerlaufdrehzahl und Schleifscheibendurchmesser

Es ergeben sich bei dieser Betrachtungsweise zunächst drei Drehzahlgruppen:

1. $6.500 < n_{\text{Leerlauf}} < 8.000$
2. $8.500 < n_{\text{Leerlauf}} < 9.500$
3. $10.000 < n_{\text{Leerlauf}} < 11.500$,

wobei innerhalb der Drehzahlgruppen 1. und 2. der Scheibendurchmesser mit steigender Leerlaufdrehzahl abnimmt. In der höchsten Drehzahlgruppe bleibt der Scheibendurchmesser bis auf eine Ausnahme konstant. Lässt man die sich ergebende Drehzahlgruppenbildung außer Acht, so bleibt die Grundaussage erhalten: Der Scheibendurchmesser sinkt mit steigender Leerlaufdrehzahl.

Die Leistungsnennaufnahme der Winkelschleifmaschinen sinkt dagegen nur in den beiden unteren Drehzahlgruppen analog zum Scheibendurchmesser. In der höchsten Drehzahlgruppe verhält sie sich nicht konstant. Sie steigt von den beiden Rändern aus zur Mitte hin an.

Messberichten zu Schwingungsmessungen an Winkelschleifmaschinen (vgl. RIEDEL und GILLMEISTER 2008) kann entnommen werden, dass an der kräftemäßig hauptsächlich eingesetzten Hand (Krafthand) des Werkers durchaus frequenzbewertete Schwingbeschleunigungen (Hauptschwingfrequenz $f = 160$ Hz) in Schwingungsrichtung z (siehe Abbildung 5.28) von 5 bis 7 m/s^2 auftreten können (Abbildung 5.29).

Die Zuordnung der Schwingungsrichtungen zum Hand-Arm-System zeigt Abbildung 5.29.

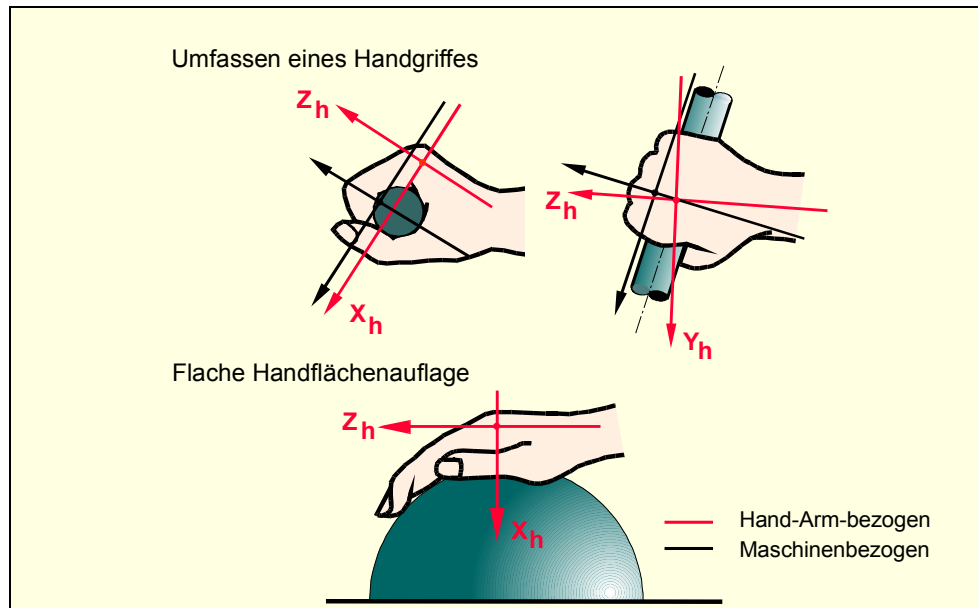


Abb. 5.28 Koordinatensystem für die Schwingungseinwirkung auf das Hand-Arm-System nach DIN EN ISO 5349-1

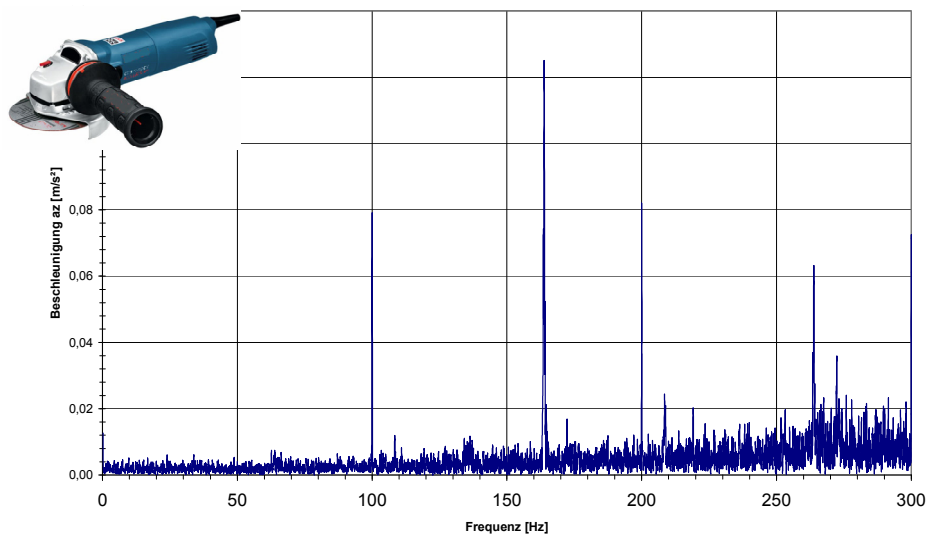


Abb. 5.29 Frequenzspektrum eines kleinen Winkelschleifers

Für die Versuchsdurchführung an der Hydropulsanlage wurde ein frequenzbewerteter Effektivwert der Schwingbeschleunigung in z-Richtung (a_{hwz} Wert) von $5,5 \text{ m/s}^2$ ausgewählt.

Bei Drehzahlen über 10.000 U/min werden die beschriebenen Schwingbeschleunigungswerte jedoch weniger wahrscheinlich, so dass eine Drehzahl unter 10.000 U/min gewählt wurde.

Aus der folgenden Abbildung 5.30 ist ersichtlich, dass die Wahl deshalb auf eine Winkelschleifmaschine mit 9.000 u/min fällt, da diese Leerlaufdrehzahl die statistische Mitte der durchgeführten Prospektrecherche bildet.

Außerdem befindet sich diese Maschine in beiden möglichen Anwendungsbereichen bzw. Gerätegruppen: Heim-Freizeit sowie Handwerk-Profi.

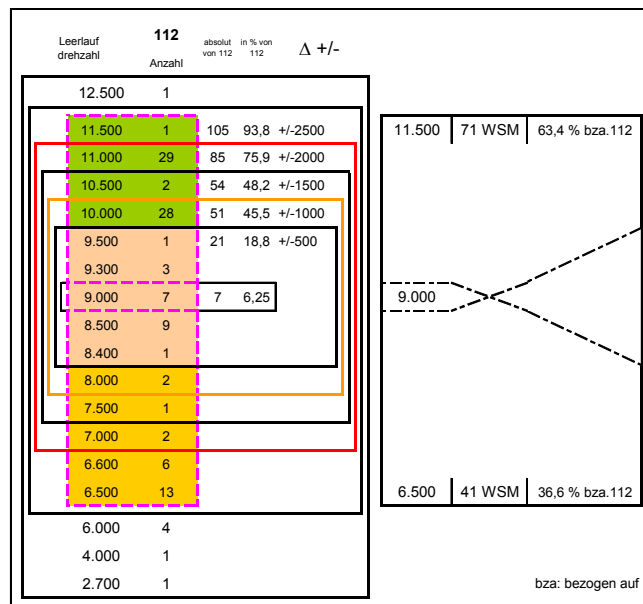


Abb. 5.30 Verteilung der Leerlaufdrehzahl bei Winkelschleifmaschinen

Offensichtlich sind Winkelschleifmaschinen für den Heim- u. Freizeitbereich sowie den Handwerk-Profi-Bereich auch masseabhängig geteilt, zwischen beiden Massebereichen unterscheidet sich die Maschinenmasse um ca. 2 kg, siehe Abbildung 5.31.

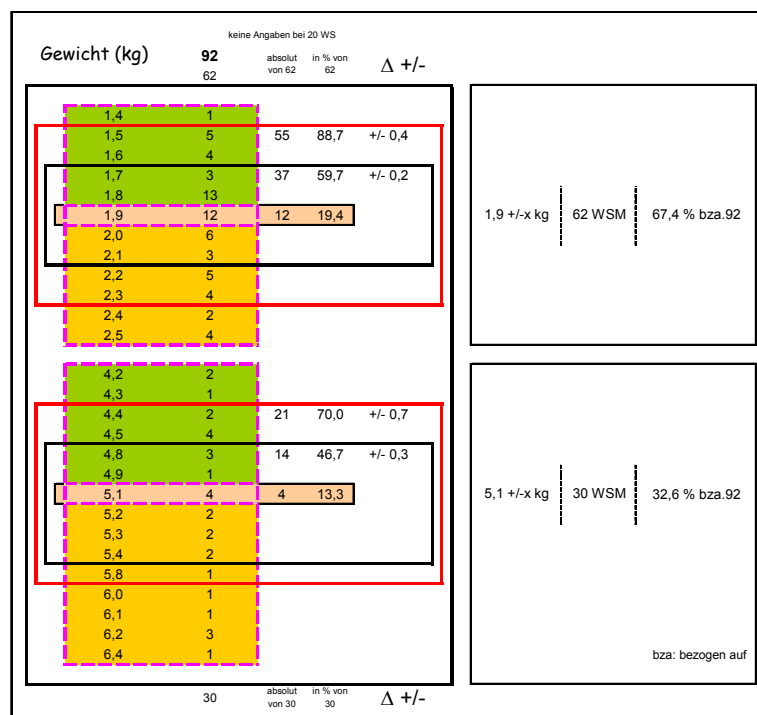


Abb. 5.31 Verteilung der Maschinenmassen bei Winkelschleifmaschinen

Kleine Winkelschleifer mit Schleifscheiben bis 150 mm verfügen meist über keinen speziellen Handgriff. Sie werden vorwiegend am Gehäuse gegriffen. Mit einem Gehäusedurchmesser von 60 bis 63 mm - optimale Griffdurchmesser liegen bei ca. 35 bis 41 mm (LINDQVIST, 1997) - ergibt sich eine sehr ungünstige ergonomische Greifsituation für den Bediener. Das Einschalten des Winkelschleifers erfolgt mittels Rastschalter (Abbildung 5.32).



Abb. 5.32 Winkelschleifer mit Maschinenkörperdurchmesser 63 mm

5.3.2 Methodik

Um für alle Versuchspersonen eine gleiche Belastung zu gewährleisten, wurde wiederum der Hand-Arm-Schwingungssimulator eingesetzt (Abbildung 5.33).



Abb. 5.33 Versuchsstand (Hand-Arm-Schwingungssimulator mit Griff und Andruckkraft-Messplattform)

Realisiert wurde am Prüfstand ein Griffdurchmesser von 61 mm, vgl. Abbildung 5.34. Ein solcher Griffdurchmesser stellt unter ergonomischen Gesichtspunkten auch bei geringen Handankopplungskräften schon eine extreme Handhabungssituation für die Bedienperson dar.



Abb. 5.34 Griff mit Greifkraftmesseinrichtung

Über den beschriebenen Messhandgriff werden mechanische Schwingungen in das Hand-Arm-System der Versuchsperson eingeleitet. Die Versuchsperson steht während des Versuchs auf einer Kraftmessplattform, die der Messung der Andruckkraft F_{fe} dient.

Die Probanden wurden mit einer bewerteten Beschleunigung von a_{hwz} Wert von 6 m/s^2 ($f_{max} = 150 \text{ Hz}$) exponiert.

Es wurde eine Ankopplungskraft der Hand von insgesamt $F_{cp} = 60 \text{ N}$ gewählt.

Die Ankopplungskraft ergibt sich nach Formel 2 aus der Summe der Andruckkraft F_{fe} und der Greifkraft F_{gr}

$$\text{Formel 2: } F_{cp} = F_{fe} + F_{gr} \quad (5.2)$$

die jeweils 30 N betragen. Diese vom Hand-Arm-System ausgehenden Kräfte werden in DIN V 45679 näher beschrieben.

Schwingungsfrequenz und Ankopplungskraft wurden an eine Versuchsdauer von 120 s pro Versuch gekoppelt. Insgesamt wurden zwei Versuchsdurchläufe ausgeführt.

Abschließend kann festgestellt werden, dass die gewählten Belastungsgrößen sowohl einer Belastung von Arbeitnehmern in kleinen und mittleren Unternehmen (KMU), als auch in vielen Fällen von Werkern im Heim- und Freizeitbereich entsprechen können.

Jeweils vor und nach der Exposition werden der Blutdruck und die Pulsfrequenz gemessen.

In einem Vorversuch mit 13 Versuchspersonen wurde geprüft, ob diese Belastungsparameter von den Versuchspersonen für realisierbar gehalten wurden. Die exponierten Versuchspersonen versicherten danach verbal, dass gegen zwei Versuchsdurchläufe mit dazwischen liegender Pause nichts einzuwenden ist.

5.3.2.1 Vibrationssensibilität

Hochfrequente Vibrationen können beim Bediener zu einer Vertäubung und damit zu einer Reduzierung der Feinmotorik der Finger führen. Aufgrund der reduzierten Feinmotorik kann es passieren, dass der Benutzer nach Beendigung der Bedienung des Gerätes z. B. Schwierigkeiten hat, das Gerät auszuschalten.

Hier kann vermutet werden, dass ein Zusammenhang zwischen der Kombination von Belastungen und altersabhängigen Veränderungen der Bedienperson besteht. Aus diesem Grund wurde für die Beanspruchungsmessung neben der Vibrationssensibilität auch die Feinmotorik untersucht. Zur der Vibrationssensibilität kam ein WTZ Pallästhesiometer zu Einsatz (Abbildung 5.35).



Abb. 5.35 Pallästhesiometrie

Zu Beginn und nach jeder Exposition wurde die Vibrationssensibilität am Mittelfinger der rechten Hand gemessen. Hierzu wurde der Schwingerreger (Auflagekraft 1 N) auf den Mittelfinger aufgesetzt und beginnend bei 0 m/s² wurde die Vibrationssensibilität manuell stufenweise erhöht bis die Versuchsperson eine Vibration spürt.

Die Versuchspersonen trugen Gehörschutz, um gegen konzentrationsstörenden Lärm von außen abgeschirmt zu sein.

5.3.2.2 Purdue-Steckbrett

Zur Prüfung der Feinmotorik wurde ein Purdue-Steckbrett eingesetzt (Abbildung 5.36). Das Purdue-Steckbrett wird für Handfertigungsprüfungen benutzt und misst zwei Arten von Aktivitäten:

- grobe Bewegungen von Hand, Fingern und Arm und
- Fingerspitzen geschicklichkeit.

Bei dieser Untersuchung müssen die Versuchspersonen Metallstifte in vorgegebener Weise in ein Lochbrett einstecken. Ausgewertet wird die Anzahl gesteckter Stifte.

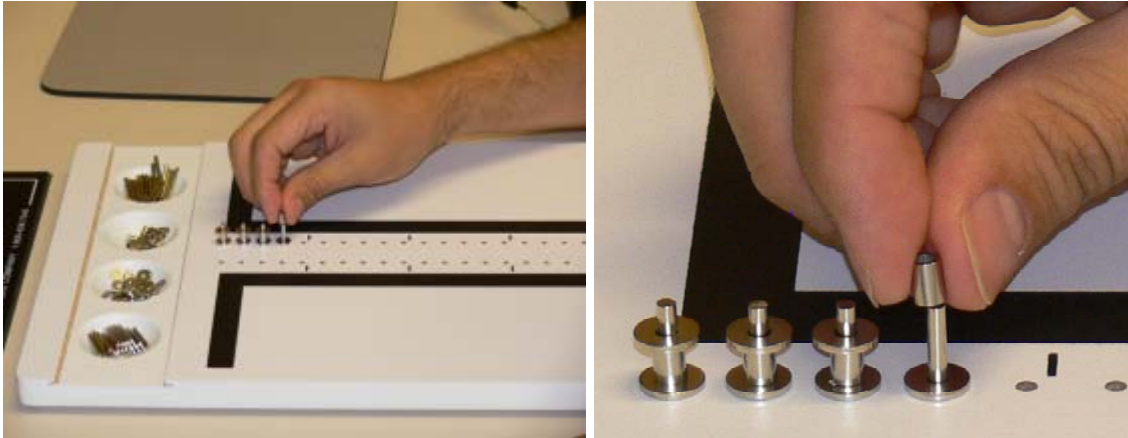


Abb. 5.36 Purdue-Steckbrett

Die Testperson führt fünf unterschiedliche Testteile durch (= Testdurchlauf), die jeweils getrennt eine Wertung erhalten:

1. Dominante Hand: Stifte aus der Schale holen und in vorgegebene Bohrungen stecken (zur Verfügung stehende Zeit: 30 s)
2. Subdominante Hand: dto.
3. Beide Hände: Abwechselnd mit der rechten und linken Hand Stifte aus der Schale holen und in vorgegebene Bohrungen stecken (zur Verfügung stehende Zeit: 30 s)
4. kein eigentlicher Test: Summe aus Testteil 1, 2 und 3
5. Baugruppe: Mit der rechten Hand einen Stift aus der Schale holen und in eine vorgegebene Bohrung stecken. Mit der linken Hand eine Unterlegscheibe herausholen und auf den Stift setzen. Mit der rechten Hand eine Hülse holen und auf den Stift setzen. Zum Abschluss mit der linken Hand eine Unterlegscheibe herausholen und auf den Stift setzen (zur Verfügung stehende Zeit: 60 s) [gewertet werden alle „verbauten“ Bauteile]

Jeder Testdurchlauf wird zweimal wiederholt. Vor Beginn der Untersuchung hat die Versuchspersonen die Gelegenheit sich mit der Handhabung des Purdue-Steckbretts vertraut zu machen.

Daraus ergeben sich für den Versuch B (Winkelschleifer) folgende Belastungsparameter und Beanspruchungsindikatoren:

- Belastung
2 Handkräfte, Schwingungsexposition
- Beanspruchung
Blutdruck, Pulsfrequenz, Vibrationssensibilität, Feinmotorik (Purdue-Steckbrett)

5.3.3 Ergebnisse – vor Beginn der Exposition

5.3.3.1 Blutdruck

Den geringsten diastolischen Blutdruck mit durchschnittlich 78 Hgmm weist die Altersgruppe 18 bis 35 Jahren auf (Abbildung 5.37). Die beiden anderen Gruppen haben einen Blutdruck über 86 Hgmm (systolischer Blutdruck: AG 1: 119 Hgmm; AG 2: 129 Hgmm; AG 3: 135 Hgmm).

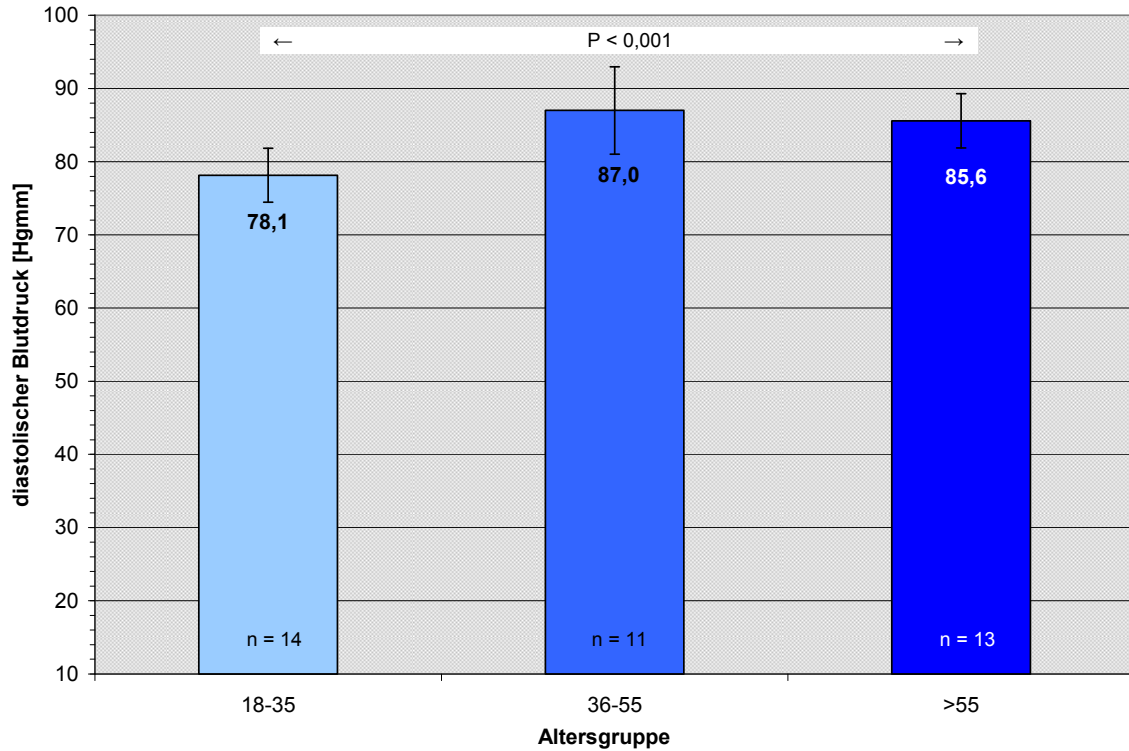


Abb. 5.37 Diastolischer Blutdruck vor der Exposition

5.3.3.2 Pulsfrequenz

Bei der Pulsfrequenz liegen die Probanden im Mittel bei 72 Schlägen pro Minute. Der Unterschied zwischen den Altersgruppen ist nur gering (Abbildung 5.38)

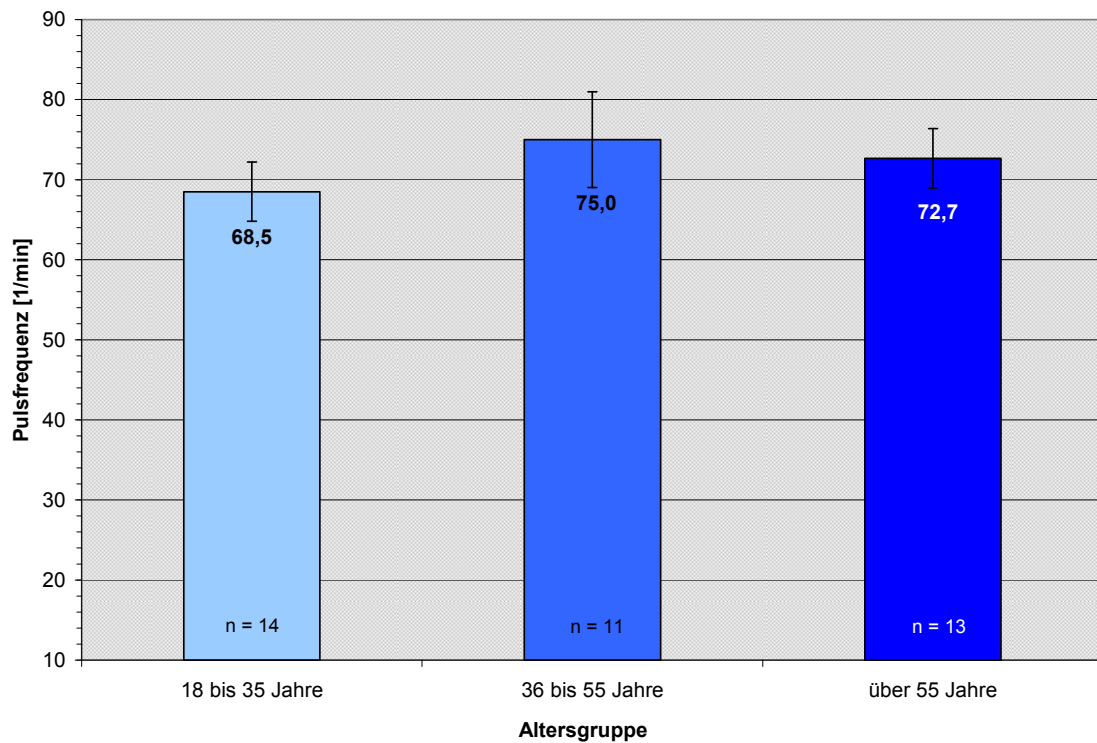


Abb. 5.38 Pulsfrequenz vor der Exposition

5.3.3.3 Körpergröße

Die signifikant kleinsten Teilnehmer stellt die Altersgruppe 3. Bei der Exposition und bei den anschließenden Beanspruchungstests wurden jedoch die „Arbeitsplätze“ an die Körpergröße angepasst, so dass dieser Effekt keinen Einfluss auf die Belastung bzw. Beanspruchung haben müsste (Abb. 5.39).

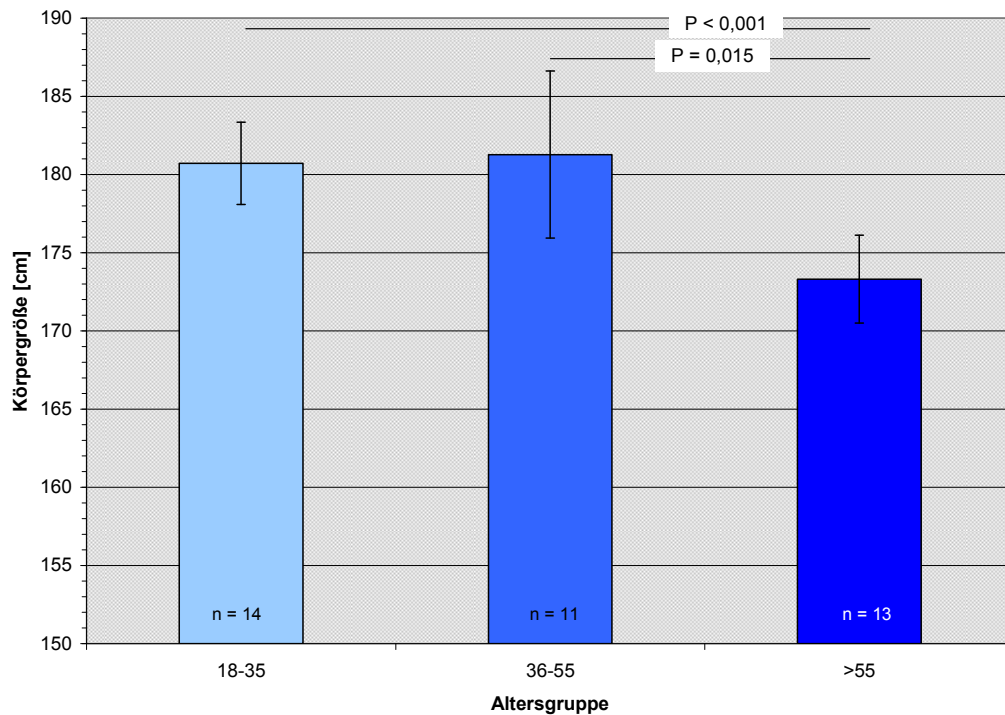


Abb. 5.39 Körpergröße der Versuchspersonen

5.3.3.4 Purdue-Steckbrett

In Abbildung 5.40 sind die Ergebnisse des Purdue-Steckbrett-Versuchs nach einem vorher durchgeführten Übungstest dargestellt. Wenn die Teilnehmer beide Hände einsetzen, können sie am wenigsten Stifte stecken.

Zwischen den dominanten und der nicht dominanten Hand gibt es fast keinen Unterschied in der Anzahl gesteckter Teile. Am Schwächsten schnitt die Altersgruppe über 55 Jahre ab.

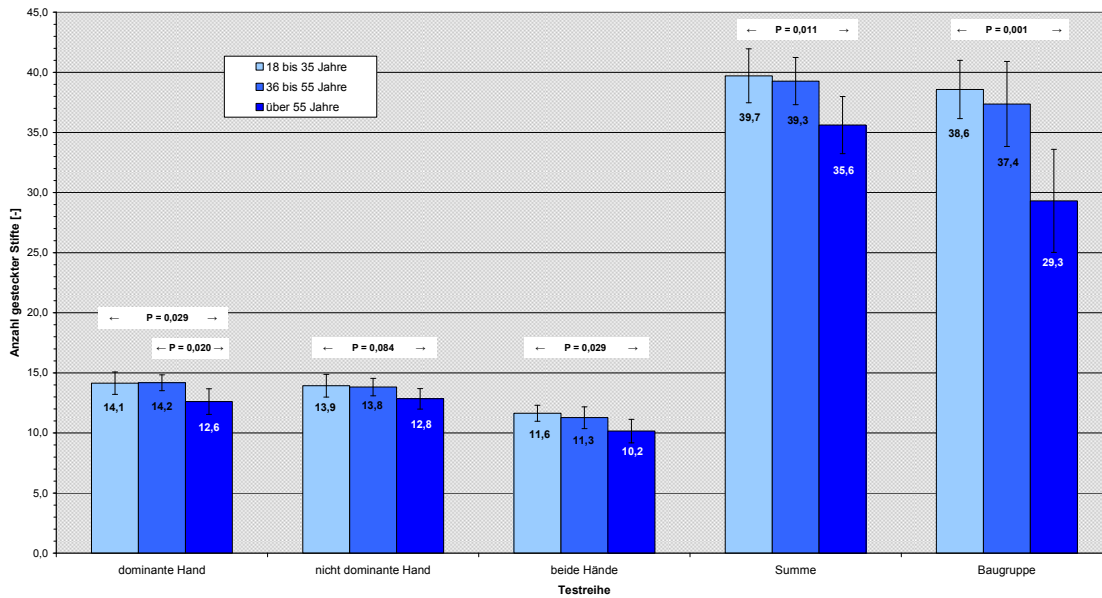


Abb. 5.40 Anzahl gesteckter Stifte beim Purdue-Steckbrett-Versuch (zweiter Test nach einem ersten Übungsversuch)

Wie bereits erwähnt, hatten die Versuchspersonen die Möglichkeit, in einem Testdurchlauf die Bedienung des Purdue-Steckbretts zu üben. Es zeigt sich, dass beim Stecken der Stifte alle drei Altersgruppen nach dem Übungsdurchgang eine höhere Stiftanzahl stecken konnten. Beim Zusammenstecken des Bauteils kann die Altersgruppen 1 jedoch den größten, hingegen die Altersgruppen 3 den geringsten „Übungserfolg“ vorweisen (Abbildung 5.41).

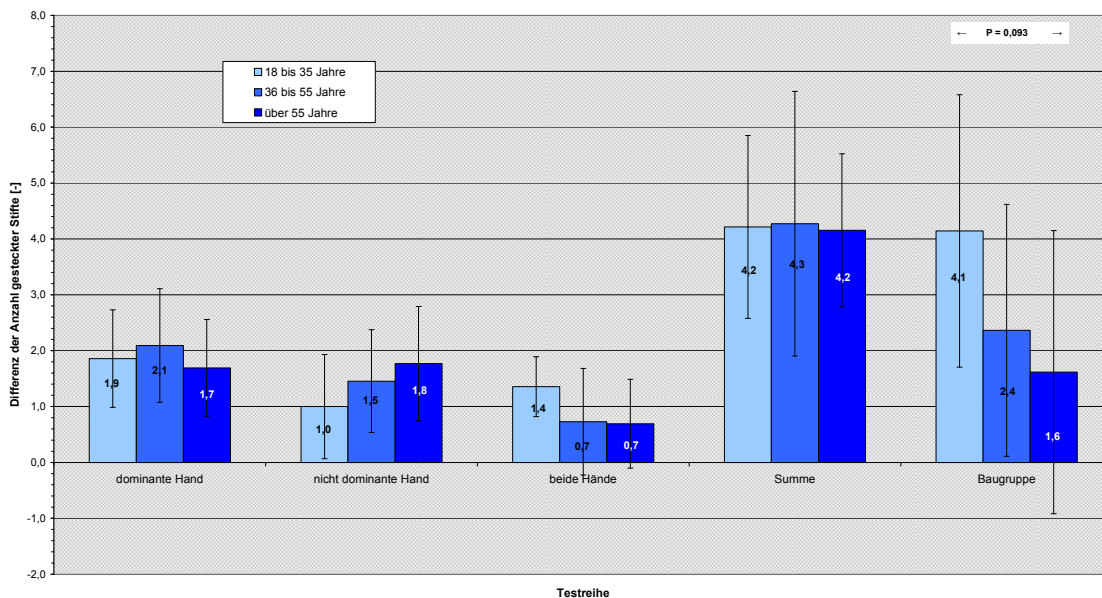


Abb. 5.41 Übungserfolg beim Purdue-Steckbrett-Versuch (Versuch 2 – Versuch 1)

5.3.3.5 Vibrationssensibilität

Die durchschnittliche Vibrationswahrnehmungsschwelle vor Beginn der Exposition liegt bei den Versuchspersonen bei $0,113 \text{ m/s}^2$.

Die niedrigste Vibrations-Wahrnehmungsschwelle mit durchschnittlich $0,077 \text{ m/s}^2$ haben die jüngsten Testpersonen (Abb. 5.42).

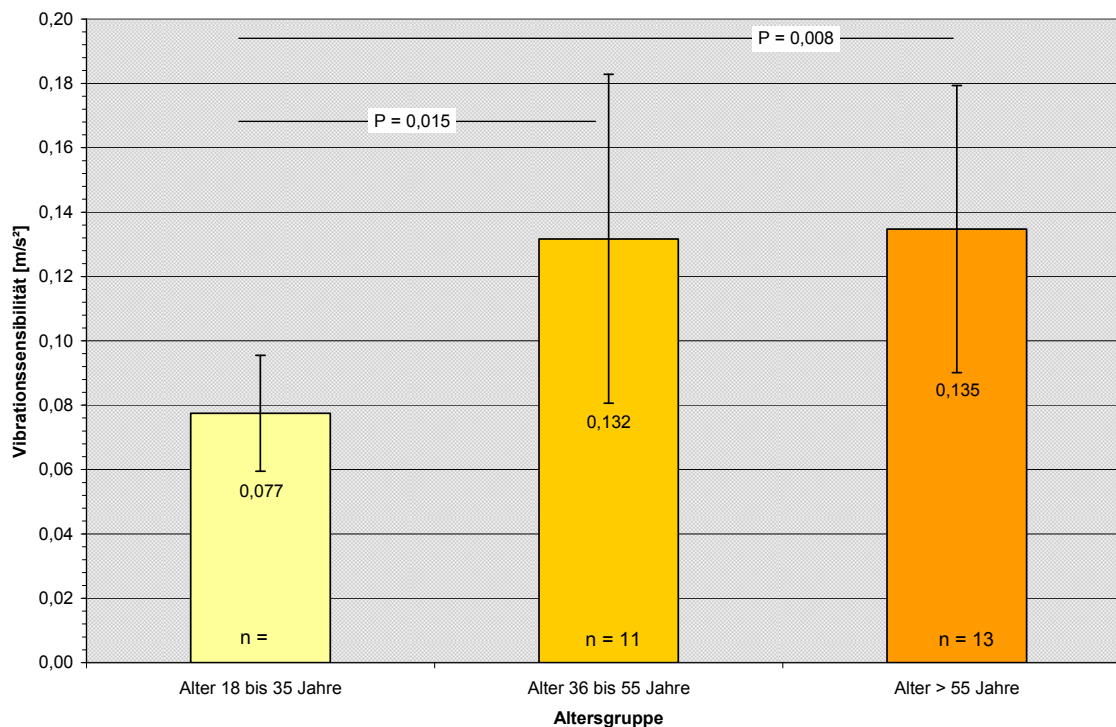


Abb. 5.42 Vibrationssensibilität zu Versuchsbeginn

Die beiden anderen Altersgruppen haben signifikant höhere Werte (ca. $0,132 - 0,135 \text{ m/s}^2$).

5.3.4 Ergebnisse – nach der Exposition

5.3.4.1 Purdue-Steckbrett

Wie zu erwarten war, nimmt die feinmotorische Fähigkeit nach einer Schwingungsbelastung ab, um dann nach der 5-minütigen Pause wieder anzusteigen (Abbildung 5.43). Werden die Ergebnisse der Untersuchungszeitpunkte „vor Versuchsbeginn“ und jeweils „nach 5-minütiger Pause“ miteinander bzw. die Untersuchungszeitpunkte „nach Exposition“ miteinander verglichen, so ist tendenziell eine Leistungssteigerung feststellbar (z. B. Summe: $38,2 - 38,9 - 38,8$).

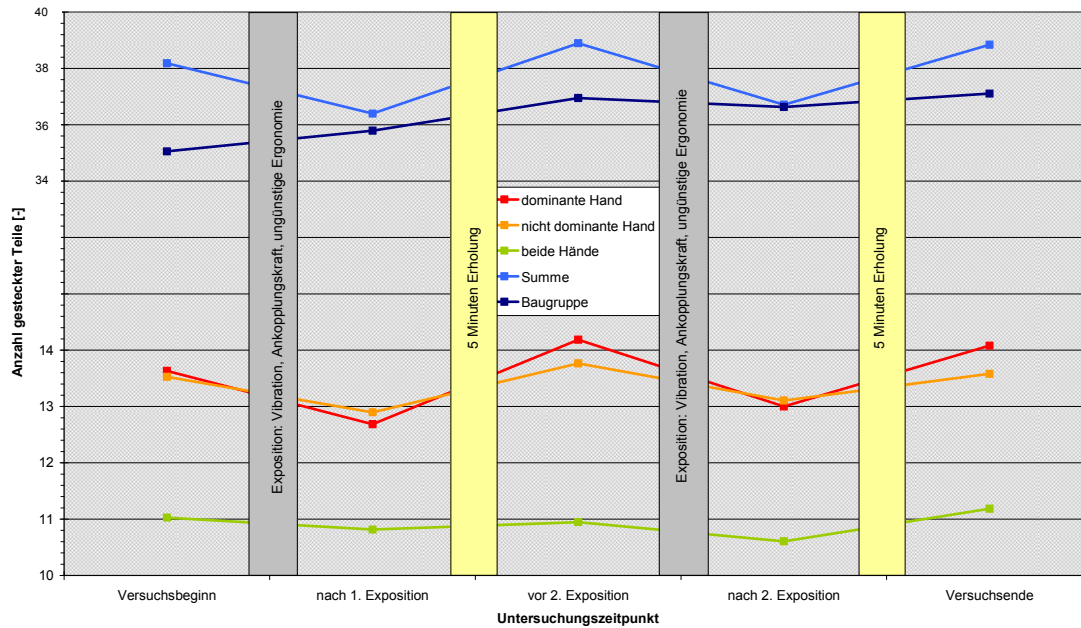


Abb. 5.43 Ergebnisse des Purdue-Steckbrett-Versuchs (Mittelwert aller Versuchspersonen, unterschiedliche Skalierung beachten)

Der geringste Effekt durch die Schwingungsbelastung ist beim Test „Baugruppe“ zu beobachten. Da dieser Test als Letzter im Testdurchlauf durchgeführt wurde, konnten sich die Probanden von der Vibrationsexposition wieder erholen. Da die dominante Hand direkt nach der Exposition getestet wurde, ist hier der Einfluss auf die Feinmotorik am Stärksten. Aus diesem Grund wird im Folgenden die Auswertung nur der dominanten Hand dargestellt.

Für die getrennte Untersuchung der Altersgruppen ergibt sich folgendes Bild (Abbildung 5.44):

- Die Altersgruppe 3 liefert in allen Untersuchungszeitpunkten das schwächste Ergebnis.
- Die Altersgruppen 1 und 2 haben bis auf den Untersuchungszeitpunkten „vor 2. Exposition“ weitgehend die gleiche Anzahl Stifte gesteckt.

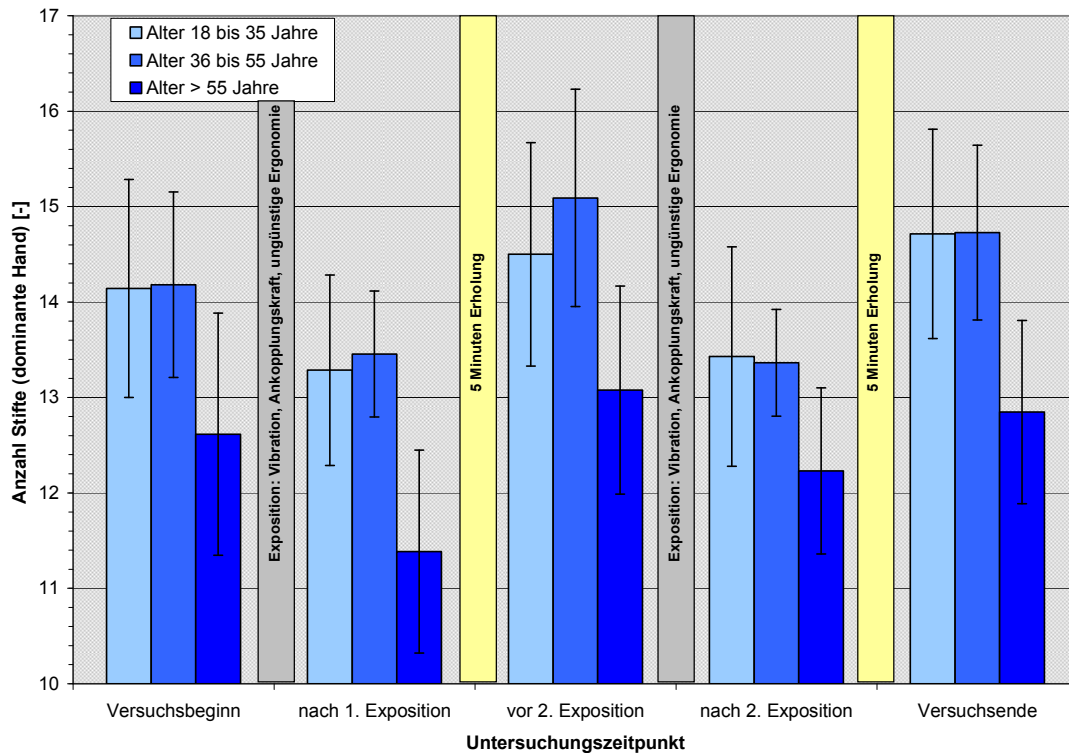


Abb. 5.44 Ergebnisse des Purdue-Steckbrett-Versuchs für die dominante Hand

Beim Vergleich der Ergebnisse vor der Exposition und zu Versuchsende, zeigt sich, dass der Leistungszuwachs bei den Älteren nicht so groß ist wie bei den Teilnehmern bis 55 Jahren (Abbildung 5.45).

Daneben ist für die Altersgruppen 3 eine Verschlechterung in der Erholungswirkung nach der Pause von Exposition 1 zu Exposition 2 zu beobachten (Abbildung 5.46).

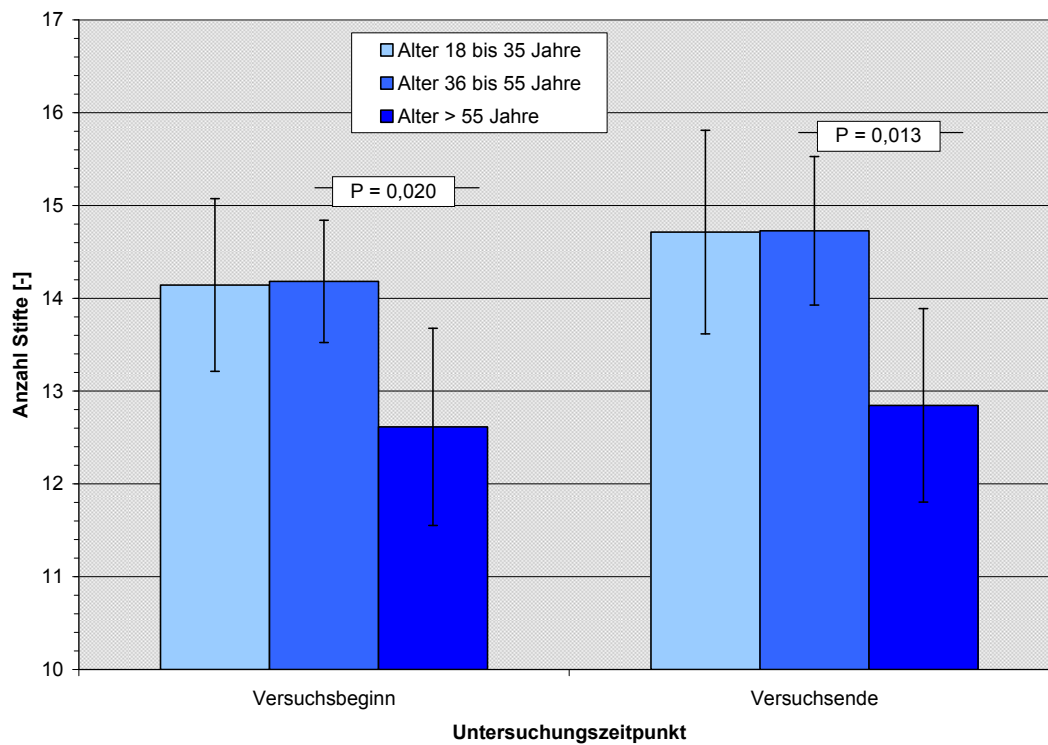


Abb. 5.45 Vergleich der Ergebnisse des Purdue-Steckbrett-Versuchs zu Versuchsbeginn und am Versuchsende (dominante Hand)

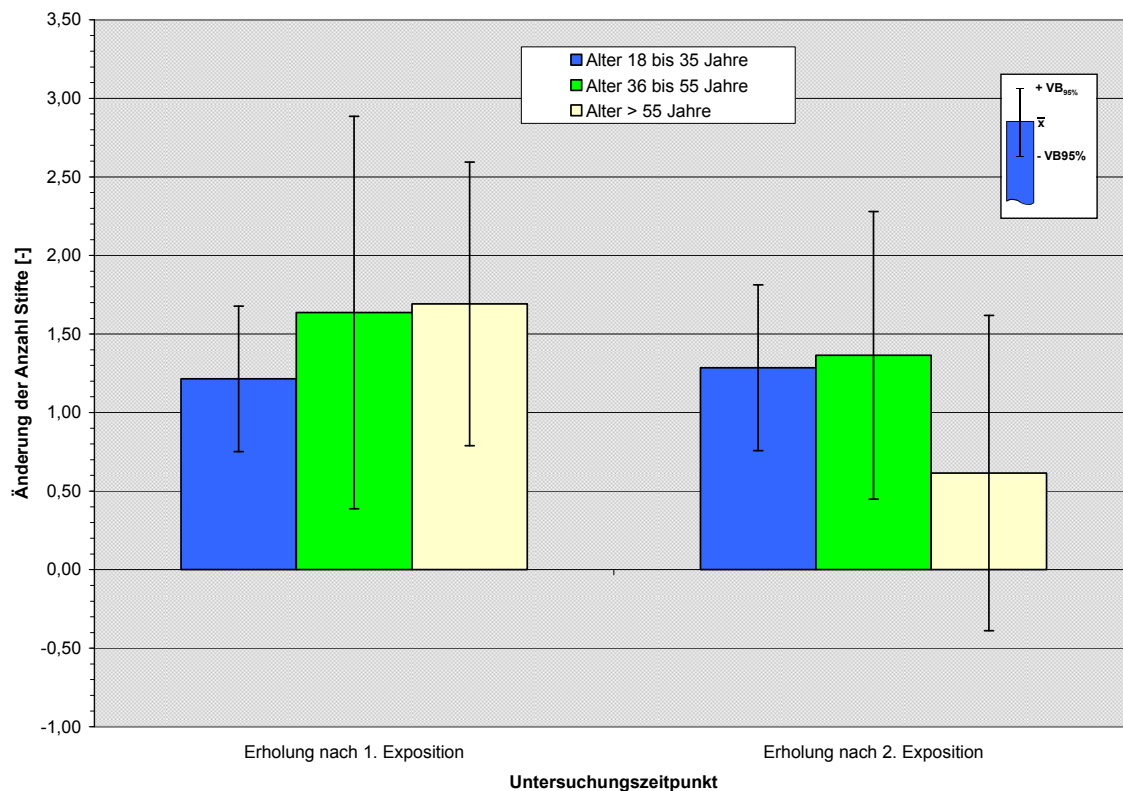


Abb. 5.46 Einfluss der Pausen auf die Feinmotorik (Purdue-Steckbrett-Versuch, dominante Hand)

5.3.4.2 Vibrationssensibilität

Bei allen Versuchspersonen tritt eine signifikante Verschlechterung der Vibrationssensibilität am Mittelfinger nach der Exposition ein. Fünf Minuten nach der ersten Exposition kann sich die Sensibilität wieder erholen, erreicht jedoch in dieser Zeit noch nicht den Ausgangszustand. Nach der zweiten Exposition erhöht sich die Wahrnehmungsschwelle wieder (5.47).

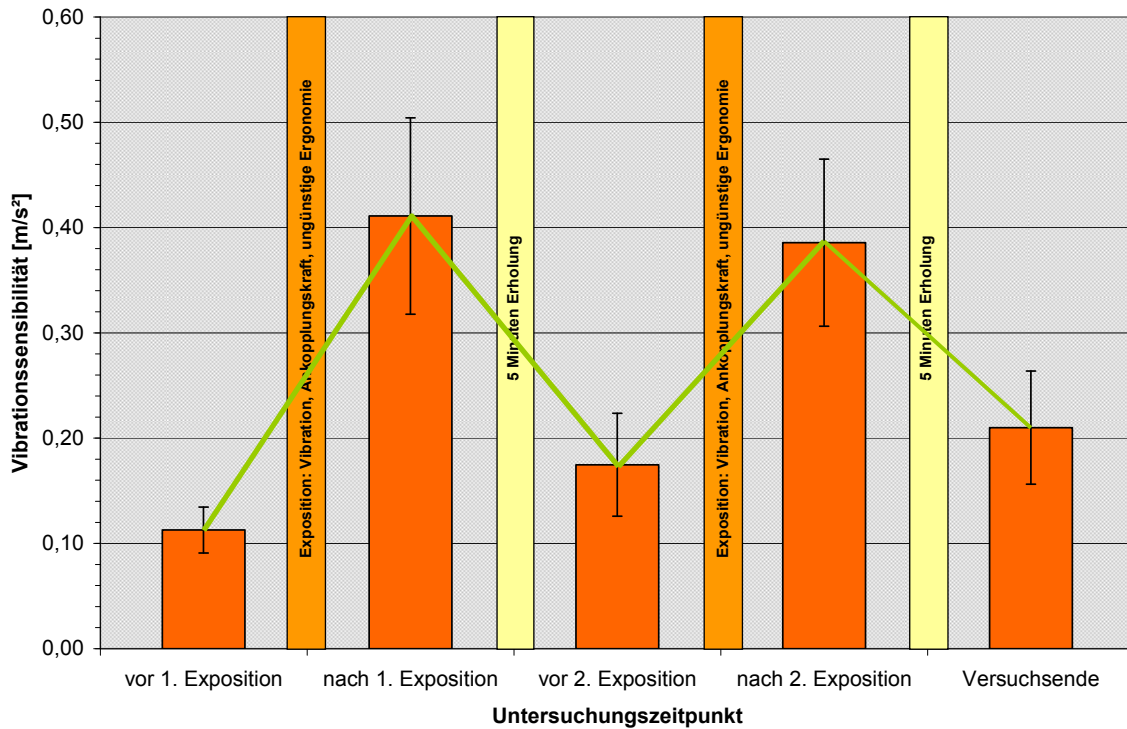


Abb. 5.47 Vibrationssensibilität zu unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten

In Abbildung 5.48 ist die Vibrationssensibilität getrennt für die Altersgruppen dargestellt.

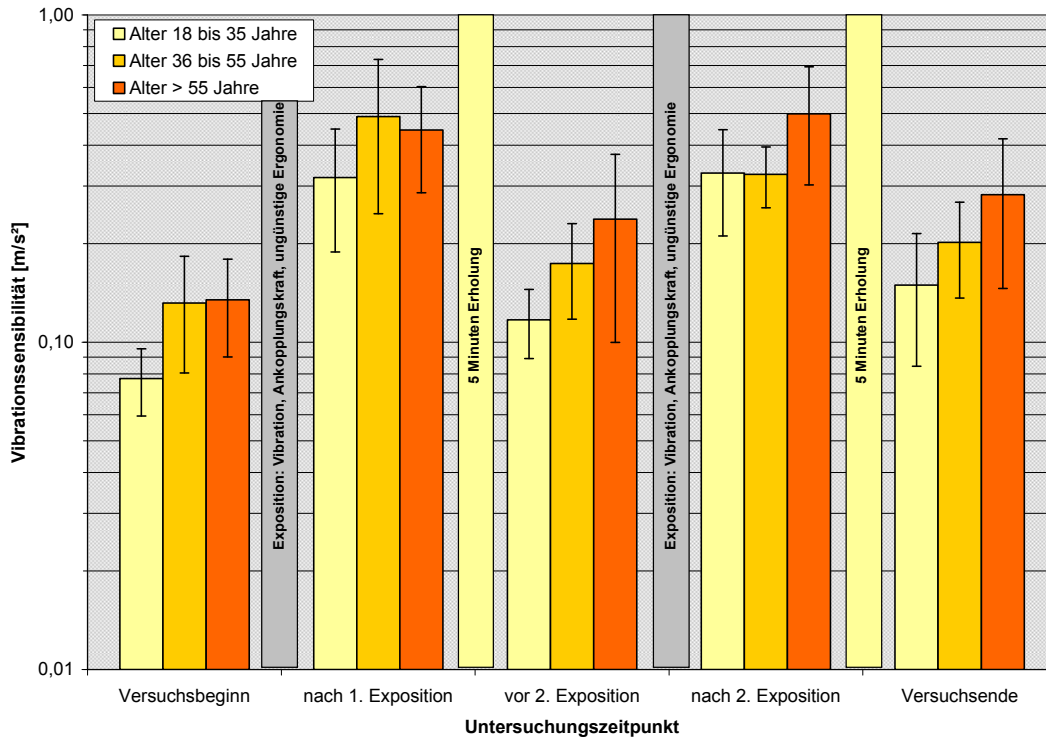


Abb. 5.48 Vibrationssensibilität zu unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten getrennt für die Altersgruppen dargestellt

Bis auf eine Ausnahme hat zu allen Untersuchungszeitpunkten die jüngste Versuchspersonengruppe die niedrigsten, die älteste Gruppe die höchsten Schwellenwerte. Wird die Wahrnehmungsschwelle zu Versuchsbeginn mit der zu Versuchsende verglichen, so fällt auf, dass sich die Wahrnehmungsschwelle bei der Altersgruppe 3 viel stärker erhöht als die der anderen Altersgruppen (5.49).

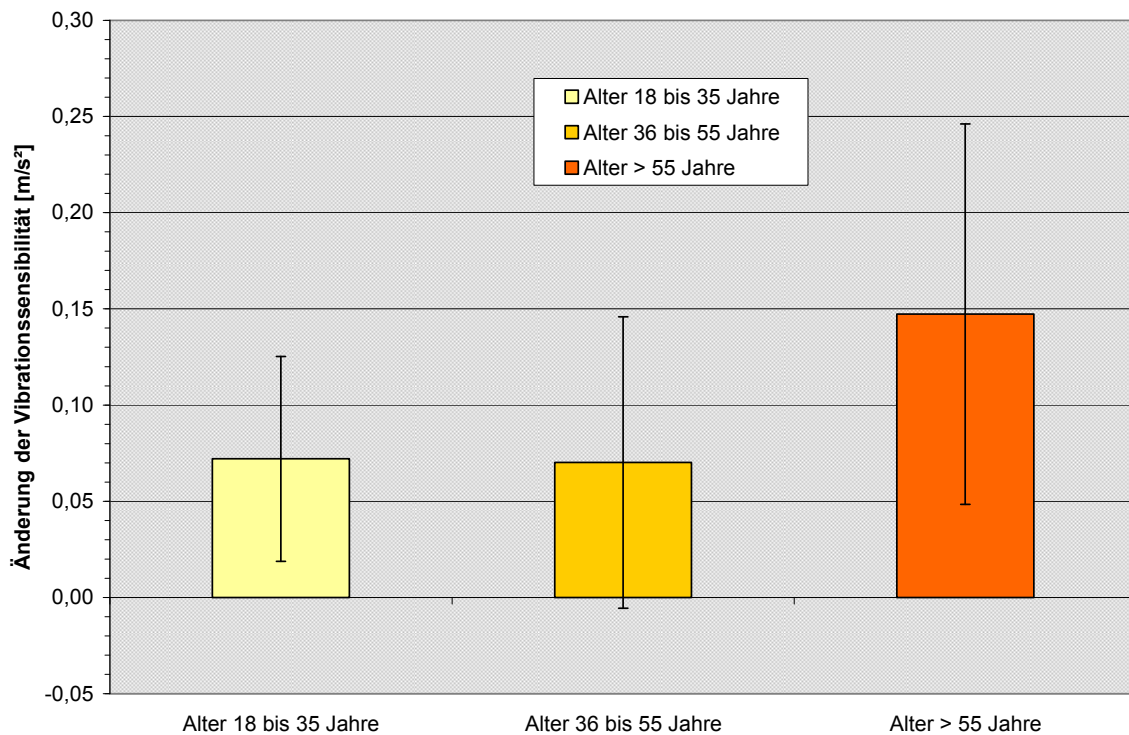


Abb. 5.49 Differenz der Vibrationssensibilität (Versuchsende zu Versuchsbeginn)

5.3.5 Diskussion Versuch „Winkelschleifer“

5.3.5.1 Alter und Feinmotorik bzw. Vibrationssensibilität

Statistisch lässt sich für dieses Versuchspersonenkollektiv ein Zusammenhang zwischen dem Alter und der Feinmotorik bzw. der Vibrationssensibilität berechnen. Je älter die Person, desto weniger Stifte kann sie in einem vorgegebenen Zeitraum in Bohrungen stecken bzw. desto höher ist ihre Wahrnehmungsschwelle (Abbildung 5.50).

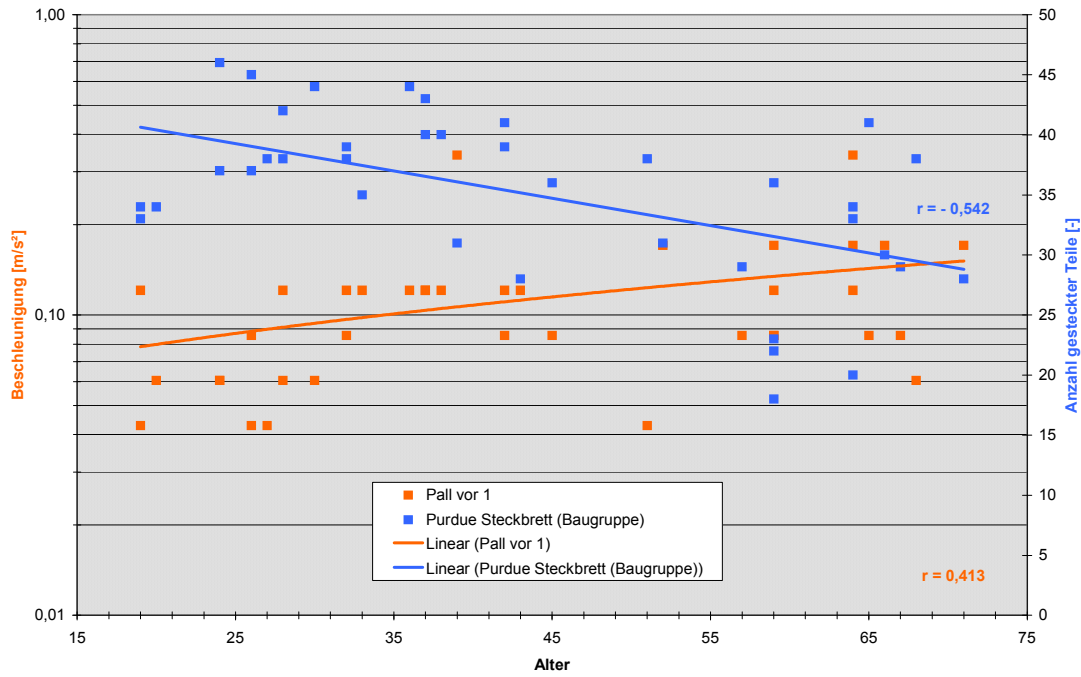


Abb. 5.50 Vibrationssensibilität und Feinmotorik in Abhängigkeit vom Alter

5.3.5.2 Alter und Erholung

Im Laufe des Versuchs steigt die Wahrnehmungsschwelle (Messzeit: nach der 5-minütigen Pause) kontinuierlich an (5.51).

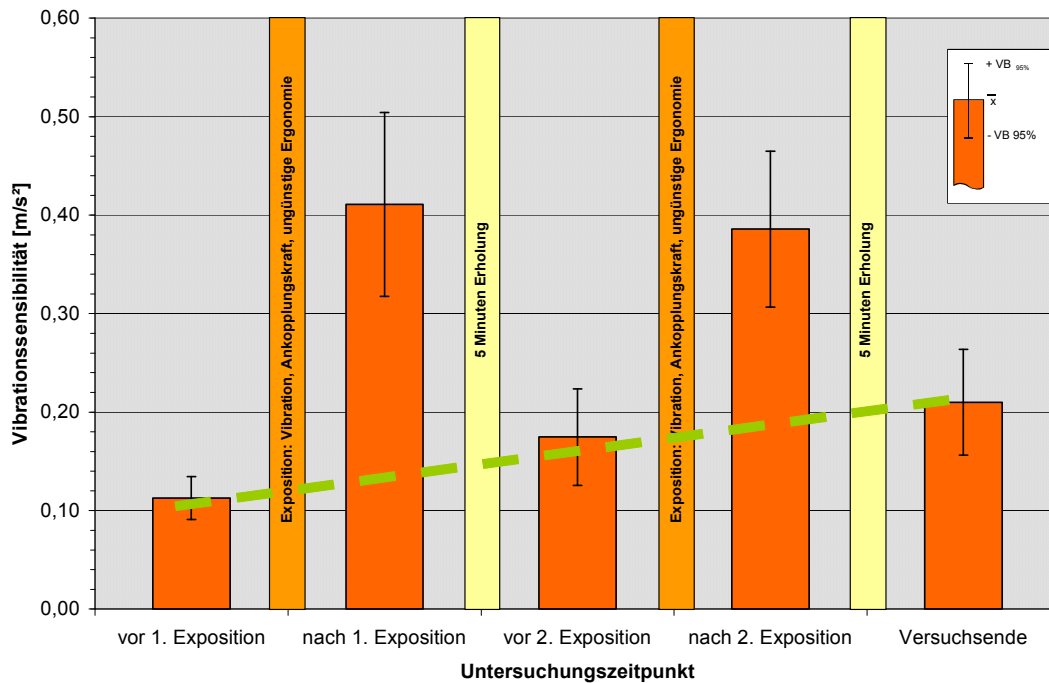


Abb. 5.51 Vibrationssensibilität zu unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten

Das heißt die 5-minütige Pause reicht den Versuchspersonen nicht aus, um sich komplett wieder zu erholen. Bei der Altersgruppe über 55 Jahre ist dieser Effekt am deutlichsten (Abbildung 5.49).

5.3.5.3 Leistungsfähigkeit (objektiv)

Für diesen Versuch konnte bei ersten Auswertungen während des Versuchs erwartet werden, dass die zwei Beanspruchungsindikatoren Vibrationssensibilität und Feinmotorik eine klare Leistungseinschätzung und damit einen Vergleich zwischen den Versuchspersonen ermöglichen würden.

Werden die Ergebnisse (Vibrationssensibilität und Feinmotorik) der drei Altersgruppen miteinander verglichen (Abbildung 5.44, 5.48), fällt auf, dass die Altersgruppe der über 55-Jährigen die größten Streuungen hat, d. h., dass die Leistungsfähigkeit in der Altersgruppe 3 eine sehr große Spanne aufweist.

Unter den 55-Jährigen finden sich Personen, die mit ähnlichen Leistungen aufwarten können, wie der Durchschnitt der Teilnehmer aus den beiden anderen Altersgruppen. In der AG 3 sind jedoch auch Personen dabei, die eine deutlich schlechtere Leistungsfähigkeit haben. Im englischsprachigen Raum werden diese Personengruppen als „fit“ bzw. „unfit persons“ bezeichnet. Hier sollen die Begriffe „leistungsfähig“ und „eingeschränkt leistungsfähig“ verwendet werden.

In der nachfolgenden Grafik 5.52 wird die Anzahl der Personen angegeben, die sich beim Pallästhesiometrietest am Ende gegenüber dem Beginn der Versuche um 3 oder 4, 2 und 0 oder 1 Stufe(n) verschlechtert haben.

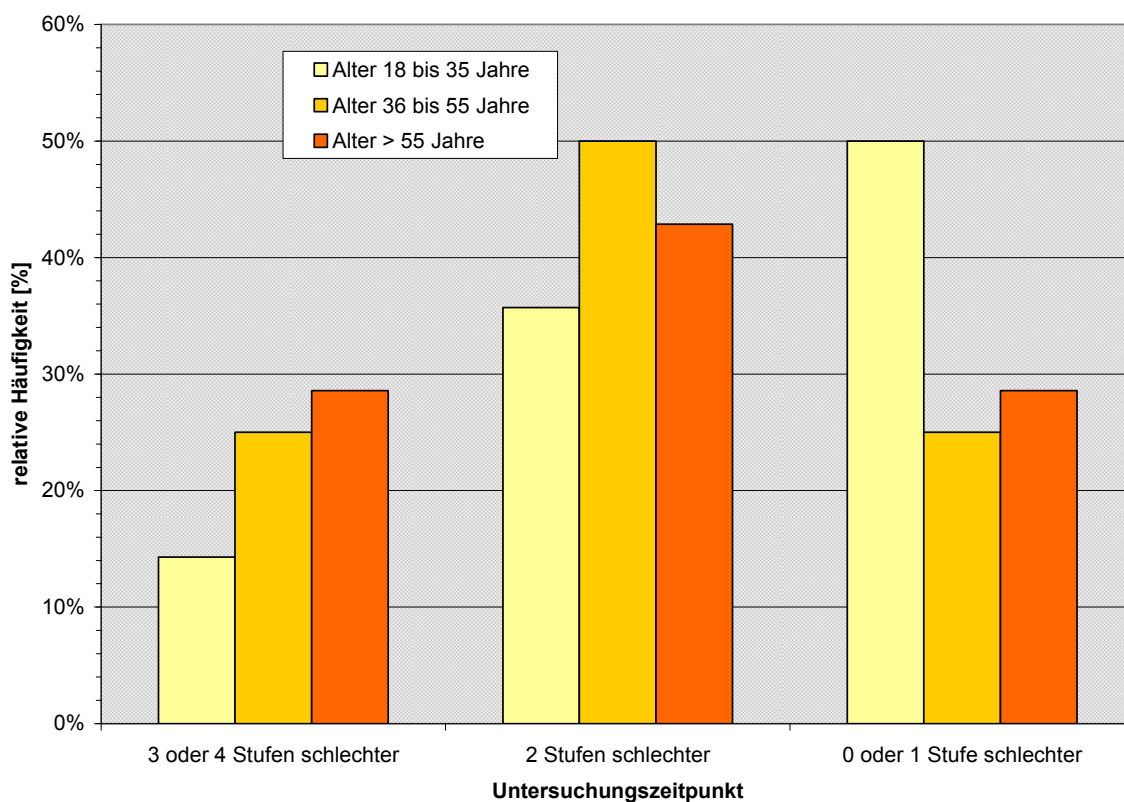


Abb. 5.52 Verschlechterung der Vibrationssensibilität nach der Exposition: Relative Häufigkeit der Höhe der Veränderungsstufen

Es ist zu erkennen, dass bei den Versuchspersonen, die sich gegenüber dem Anfangszustand um mehr als 3 Stufen verschlechtert haben, relativ die Mehrzahl der AG 3 angehört. In der Gruppe 0 oder 1 Stufe schlechter sind auf der anderen Seite am häufigsten die ganz jungen Versuchspersonen vertreten. Es ist aber auch ersichtlich, dass fast 30 % der Altersgruppe 3 sich durch die Exposition gar nicht oder nur um eine Stufe verschlechtert haben.

In Abbildung 5.53 ist das Ergebnis für den Purdue-Steckbrett-Versuch in ähnlicher Weise dargestellt.

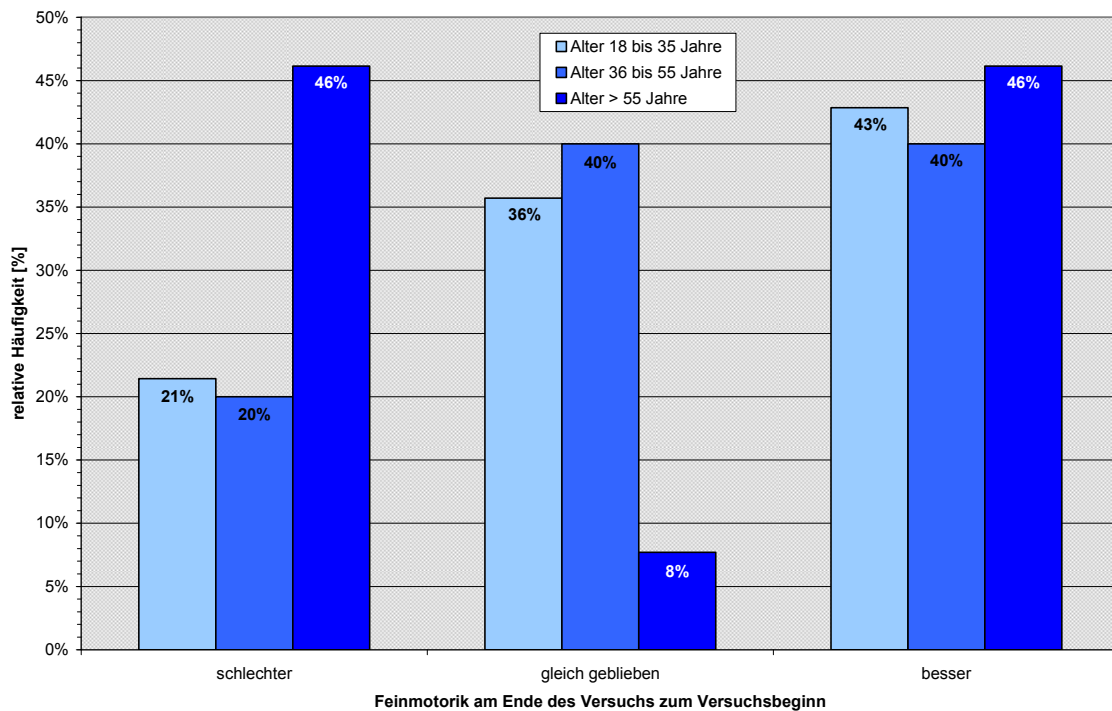


Abb. 5.53 Relative Häufigkeit der Veränderungen der Feinmotorik im Purdue-Steckbrett-Versuch nach der Exposition

Auch hier fällt auf, dass knapp 50 % der Älteren nach der Exposition ein schlechteres Ergebnis haben als zu Beginn des Versuchs. Allerdings haben sich knapp 50 % auch verbessert.

In der Tabelle 5.8 ist die relative Verteilung der Leistungsfähigkeit (niedrig/mittel/hoch) nach einer Exposition zusammengefasst. Die Leistungsfähigkeitsstufen wurden dabei wie folgt festgelegt:

Vibrationssensibilität:

- 3 oder 4 Stufen verschlechtert – niedrige Leistungsfähigkeit
- 2 Stufen verschlechtert – mittlere Leistungsfähigkeit
- 0 oder 1 Stufen verschlechtert – hohe Leistungsfähigkeit

Feinmotorik:

- geringere Anzahl gesteckter Teile nach der Exposition – niedrige Leistungsfähigkeit
- Anzahl gesteckter Teile gleich geblieben – mittlere Leistungsfähigkeit
- höhere Anzahl gesteckter Teile nach der Exposition – hohe Leistungsfähigkeit

Tab. 5.8 Relative Verteilung der Leistungsfähigkeit nach der Exposition

	Alter 18 bis 35 Jahre			Alter 36 bis 55 Jahre			Alter > 55 Jahre		
Leistungsfähigkeit	niedrig	mittel	hoch	niedrig	mittel	hoch	niedrig	mittel	hoch
Vibrationssensibilität	14 %	36 %	50 %	25 %	50 %	25 %	29 %	43 %	29 %
Feinmotorik	21 %	36 %	43 %	20 %	40 %	40 %	46 %	8 %	46 %

Wird die Gruppe der Personen mit mittlerer Leistungsfähigkeit auf die beiden Gruppen „schlechte“ und „gute“ Leistungsfähigkeit aufgeteilt, ergibt sich abhängig vom Alter die folgende Häufigkeitsverteilung (siehe Tabelle 5.9):

Tab. 5.9 Relative Verteilung der Leistungsfähigkeit nach der Exposition

	Alter 18 bis 35 Jahre		Alter 36 bis 55 Jahre		Alter > 55 Jahre	
Leistungsfähigkeit	niedrig	hoch	niedrig	hoch	niedrig	hoch
Vibrationssensibilität	30 %	70 %	50 %	50 %	50 %	50 %
Feinmotorik	40 %	60 %	40 %	60 %	50 %	50 %

Aus diesem Ergebnis kann für die Beanspruchungsindikatoren Vibrationssensibilität und Feinmotorik folgendes geschlossen werden:

- In der Altersgruppe 1 findet sich die Mehrzahl der hoch leistungsfähigen Versuchspersonen. Der Anteil dieser Versuchspersonen nimmt bis zur Altersgruppe 3 ab, verändert sich aber nicht wesentlich.
- In allen drei Altersgruppen findet sich ein Anteil eingeschränkt leistungsfähiger Versuchspersonen, der natürlich in der Altersgruppe 1 am niedrigsten ist, aber auch dort auftritt.
- Erstaunlich ist die Erkenntnis, dass in der Altersgruppe 3 ein 50%iger Anteil von hoch leistungsfähigen Versuchspersonen enthalten ist.

Im Vergleich der Aussagen, die mit Beanspruchungsindikatoren erreicht werden können, erbringen die beiden Indikatoren Vibrationssensibilität und Feinmotorik einen deutlich höheren Anteil von leistungsfähigen Versuchspersonen in der Altersgruppe 3.

5.4 Experimenteller Versuch – Akkuschauber

5.4.1 Einleitung

Bei der Arbeit mit Bohrmaschinen kann es plötzlich passieren, dass der Bohrer im Werkstück klemmt. Ist die Bohrmaschine nicht mit einer Drehmomentbegrenzung ausgestattet, kommt es am Griff des Gerätes zu einem schlagartigen Anstieg des Drehmoments, was Verletzungen des Handgelenks zur Folge haben kann.

Um zu verhindern, dass der Griff aus der Hand gedreht wird, muss der Bediener die Bohrmaschine fester in der Hand halten und gleichzeitig den Betätigungsschalter loslassen.

In diesem Versuch sollte die altersabhängige Reaktionszeit zwischen dem plötzlichen Blockieren des Bohrers und dem Loslassen des Schalters ermittelt werden.

5.4.2 Methodik

Um mögliche Verletzungen bei den Versuchspersonen zu verhindern, wurden die Bohrversuche mit einem Akkuschauber mit Drehmomentbegrenzung (Stufe 20: maximal $6,8 \pm 0,1$ Nm, Umdrehung Stufe 1: 400 U/min) durchgeführt.

5.4.2.1 Versuchsstand

An einem speziellen Versuchsstand müssen die Probanden mit einem handelsüblichen Akkuschauber (METABO BSZ 15.6Plus) einhändig Schrauben eindrehen.

Der Versuchsstand besteht aus einem stabilen Metallrahmen, in den sechs Schrauben (M8) eingedreht werden müssen (Abb. 5.54).



Abb. 5.54 „Innenleben“ des Versuchsstands (Herstellung: Fa. Nitsche Metallgestaltung, Finkenbach)

Die Schrauben werden bis zu einem Anschlag festgedreht. Dieser Anschlag ist so ausgelegt, dass die sechs Schrauben unterschiedlich lange eingeschraubt werden müssen. Über einen elektrischen Kontakt (3 V Batterie) wird das Erreichen des Anschlags ermittelt.

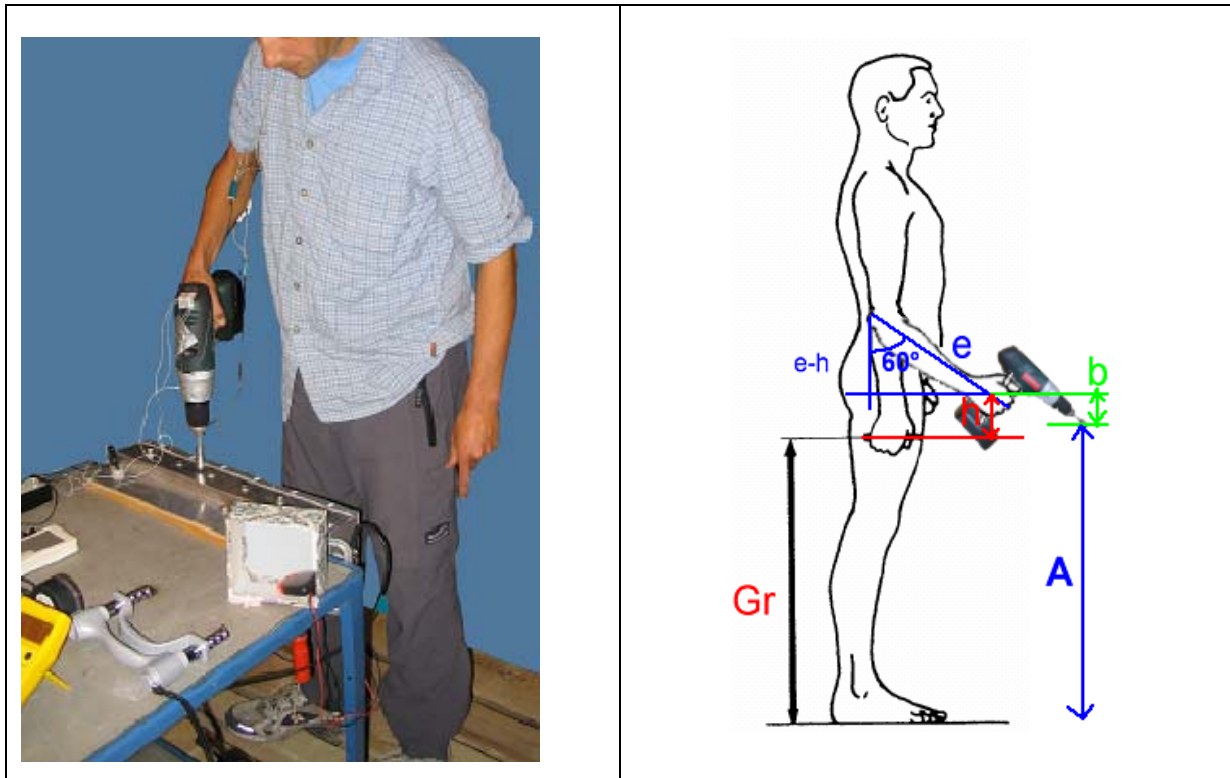


Abb. 5.55 Versuchsperson am Versuchsstand/Berechnung der optimalen Arbeitshöhe A am Versuchsstand

Die Schraubvorrichtung ist fest mit dem Tisch verbunden. Eine Abdeckplatte verhindert, dass die Versuchsperson eine visuelle Rückmeldung bekommt. Der komplette Versuchsstand kann in 3-cm-Schritten an die Körpergröße der Versuchspersonen angepasst werden (Abbildung 5.55).

Die Versuchsperson schraubt in festgelegter Reihenfolge (Schraube Nr. 2, 4, 5, 1, 3, 6) nacheinander sechs Schrauben fest. Erreicht die Schraube den Anschlag, erhöht sich schlagartig das Drehmoment am Griff des Akkuschaubers. Die Versuchsperson wird durch diese Drehmomentspitzen gezwungen, den Handgriff fester zu greifen und den Betätigungsschalter loszulassen.

5.4.2.2 Messtechnik

Der Zeitpunkt des Erreichens des Anschlags wird erfasst, sowie das Loslassen des Betätigungsschalters des Akkuschaubers mittels Drucksensor bzw. Kontaktgebers (ab Versuchsperson Nr. 30), so dass daraus die Reaktionszeit der Versuchsperson berechnet werden kann.

Neben der Reaktionszeit wird die elektrische Muskelaktivität (EMG) des m. flexor carpi ulnaris und des m. biceps brachii während des Bohrvorgangs aufgezeichnet (Abb. 5.56).



Abb. 5.56 EMG-System der Fa. Biovision

Die verstärkten EMG-Signale (Faktor 5.000) sowie die Kontaktsignale (Anschlagkontakt, Drucksensor und Kontaktgeber des Betätigungsschalters) werden über einen AD-Wandler (Fa. SENG, Auflösungsvermögen 12 bit, Abtastrate 1.500 Hz) in einem Laptop gespeichert (Messsoftware DiaDem) Excel analysiert und ausgewertet.

Zur Einhaltung der DIN EN 60601-1 wird ein Trenntransformator zur galvanischen Trennung (Fa. Thalheimer, Typ ERT 230/230/4/G) eingesetzt.

Zu Beginn des Versuchs wird die Versuchsperson einer körperlichen Untersuchung (Erfassung von Größe, Gewicht, Puls und Blutdruck, Motorik der Hände und Arme [Armvorhalteversuch, Reflexprüfung]) unterzogen und ihre Händigkeit mit dem Edinburgh Handedness Inventory-Test ermittelt. Danach erfolgt eine Kalibrierung der elektrischen Muskelaktivität durch Ausüben einer statischen Greifkraft von 98 N mit einem Handdynamometer.

Nach der Exposition wird die maximale Greifkraft F_{gr} der Testperson in jeweils drei Versuchen für beide Hände mit einem Handdynamometer (siehe Abbildung 5.11) gemessen (stehend mit ausgestrecktem Arm). Personen mit erhöhtem Blutdruck sind von der Messung ausgenommen. Zusätzlich bestimmt die Versuchsperson die Höhe ihrer Belastung durch die Exposition mittels visueller Analogskala.

Der Versuch wird insgesamt dreimal wiederholt. Zwischen den Durchläufen gibt es eine Pause von 5 Minuten.

In einem Vorversuch wurde mit zehn Versuchspersonen der Versuchsablauf getestet, um eine Ermüdung der Versuchspersonen durch die Exposition auszuschließen. Daraus ergeben sich für den Versuch C (Akkuschrauber) folgende Belastungsparameter und Beanspruchungsindikatoren:

- Belastung
Handkräfte rechts und links, Schwingungsexposition
- Beanspruchung
Blutdruck, Pulsfrequenz, Greifkraft beider Hände, subjektive Beanspruchungseinschätzung, Schraubdauer, Reaktionszeit

5.4.3 Ergebnisse – vor Beginn der Exposition

5.4.3.1 Blutdruck

Entsprechend den Leitlinien zur arteriellen Blutdruckmessung wurde nach mindestens 3 min Ruhephase an beiden Armen der arterielle Blutdruck gemessen und eine Wiederholung am Arm mit dem höheren Wert vorgenommen. Für die Auswertung wurde der höchste Wert hinzugezogen. Beim systolischen Blutdruck ist auffallend, dass die Altersgruppe 3 die höchsten Werte aber auch die größte Streuung aufweist (Abb. 5.57). Die einzelnen Messwerte zeigen, dass in dieser Gruppe nicht nur der höchste sondern auch der niedrigste Wert gemessen wurde (104 und 214 Hgmm).

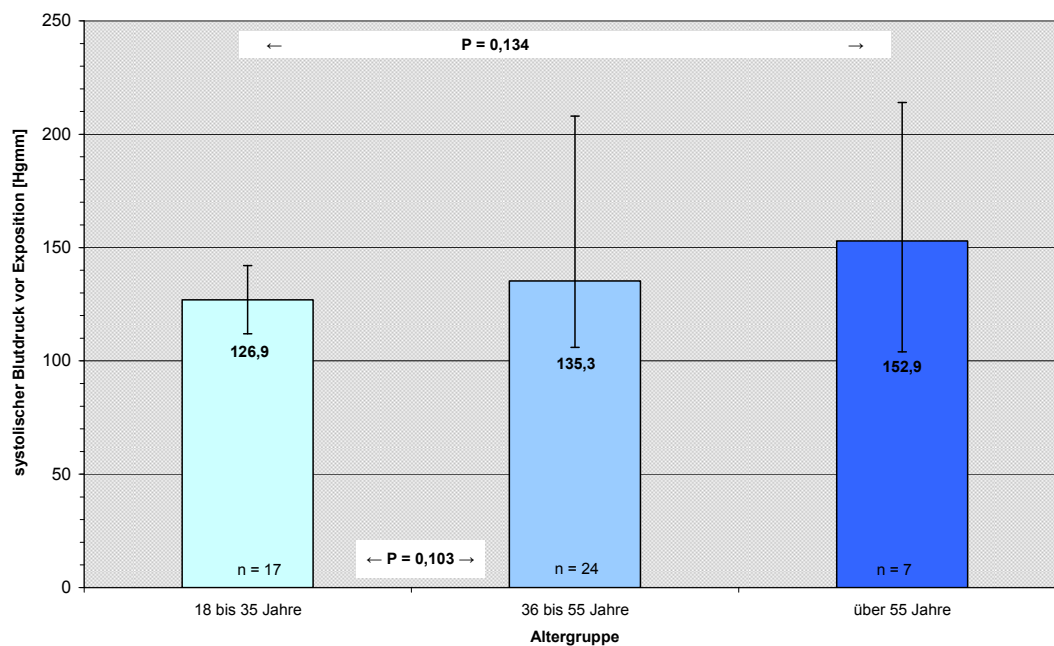


Abb. 5.57 Systolischer Blutdruck vor Versuchsbeginn (Maximalwert aus drei Messungen)
[Aus technischen Gründen konnte der Blutdruck nicht bei allen Versuchspersonen erfasst werden.]

Beim diastolischen Blutdruck haben die Altersgruppen 2 und 3 mit 86,9 bzw. 86,6 4 Hgmm fast die gleichen Werte. Die AG1 liegt mit 80,4 Hgmm deutlich darunter. Wie die Grafik 5.58 zeigt, wurde bei allen Versuchspersonen am rechten Arm weitgehend der gleiche Blutdruck gemessen wie am linken Arm.

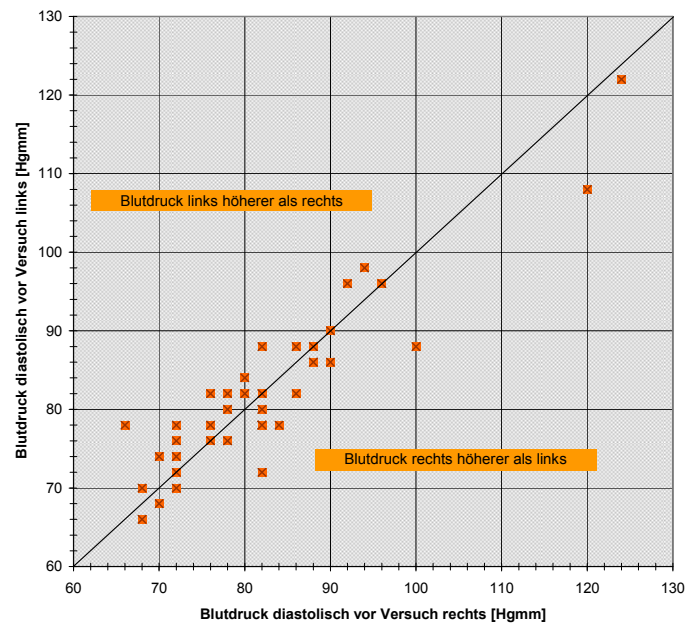


Abb. 5.58 Systolischer Blutdruck vor Versuchsbeginn. Vergleich Messung am rechten Arm mit der Messung am linken Arm

5.4.3.2 Pulsfrequenz

Mit 66,9 Schlägen in der Minute wurden in der Altersgruppe über 55 Jahre im Durchschnitt die gleichen Werte gemessen wie in der Altersgruppen bis 36 Jahren. Die AG 2 liegt mit fast 75 Pulsschlägen deutlich darüber (Abb. 5.59).

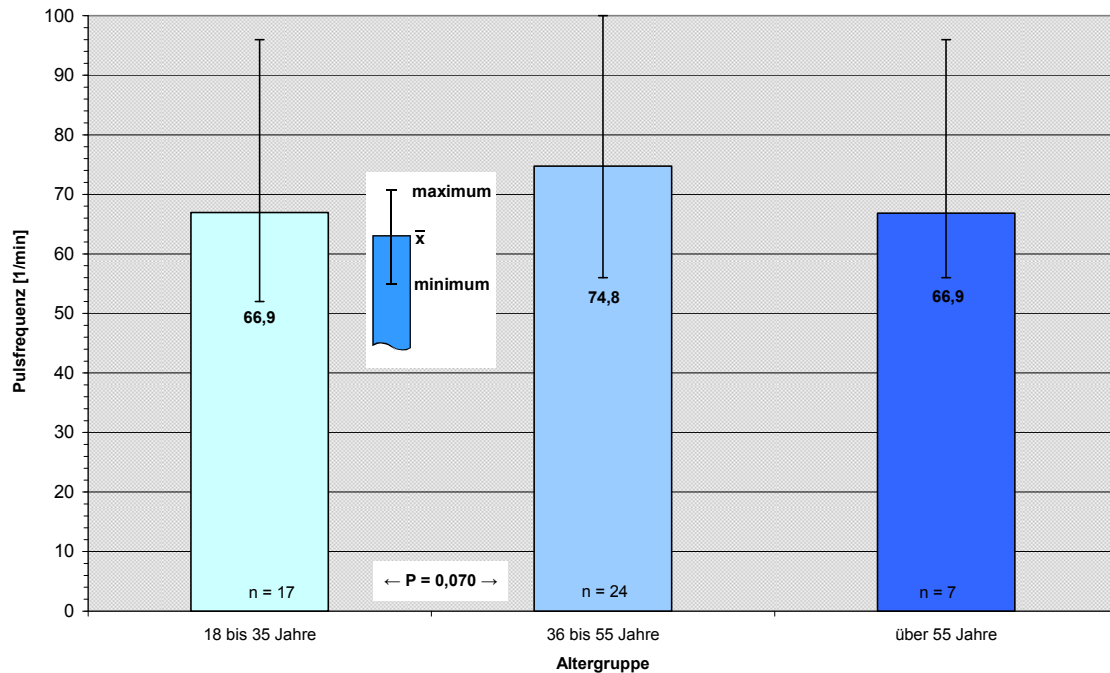


Abb. 5.59 Pulsfrequenz vor Versuchsbeginn (Mittelwert, Maxima und Minima)
[Aus technischen Gründen konnte der Blutdruck nicht bei allen Versuchspersonen erfasst werden.]

Die teilweisen hohen Messwerte sind wahrscheinlich auf die Nervosität zu Versuchsbeginn zurückzuführen.

5.4.4 Ergebnisse – während der Exposition

In der folgenden Abbildung 5.60 ist der Zeitverlauf für eine Muskelaktivitäts- und die Kontaktmessung dargestellt. Der Schraubkontakt hat bis zum Blockieren der Schraube 0 V. Danach steigt die Spannung auf ca. 3 V an. Solange die Versuchsperson den Betätigungsschalter des Akkuschaubers gedrückt hält, liegt beim Fingerkontakt ca. 5 V an. Wird der Betätigungsschalter losgelassen, wird der Kontakt unterbrochen (< 1 V). Bei den ersten 30 Versuchspersonen wurde der Fingerkontakt über den Drucksensor gemessen. Als Kriterium ist hier ein Spannung < 1 V definiert. Die Zeit zwischen Start Schraubkontakt und Ende Fingerkontakt entspricht der Reaktionszeit der Versuchsperson. Die Zeit vom Start der Messung bis zum Schraubkontakt entspricht dem Schraubvorgang.

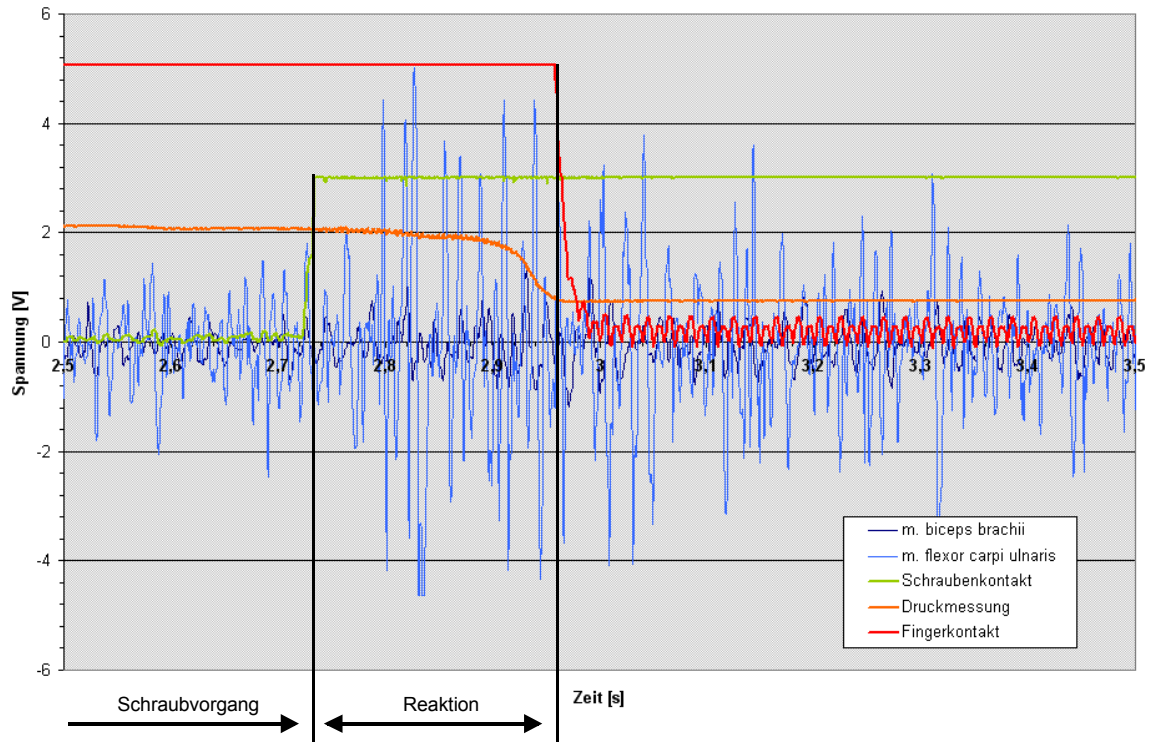


Abb. 5.60 Zeitverlauf der Muskelaktivitäts- und Kontaktmessung

5.4.4.1 Schraubdauer

Damit die Versuchspersonen kein Zeitgefühl für die Dauer des Schraubvorgangs entwickeln konnten, dauerte das Einschrauben der sechs Schrauben unterschiedlich lang.

Die Dauer des Schraubvorgangs ist von zwei Faktoren abhängig:

- der Länge der Schraube (technische Schraubdauer) und
- dem Bediener (persönliche Schraubdauer)

Je nachdem wie schnell der Bediener nach dem Kommando des Versuchsleiters den Betätigungsschalter des Akkuschräubers betätigt, desto kürzer ist die Schraubdauer. Die technische Schraubdauer ist von der eingestellten Länge der Schraube und dem Anschlagblock abhängig. Weitere Faktoren wie z. B. Ausdehnung der Schraube durch Temperatur oder allmähliches Längen der Schraube durch ständigen Zug sollen hier nicht betrachtet werden.

In der Grafik 5.61 ist der Zusammenhang zwischen der persönlichen und der technischen Schraubdauer (Anzahl Umdrehungen bis Anschlag) dargestellt.

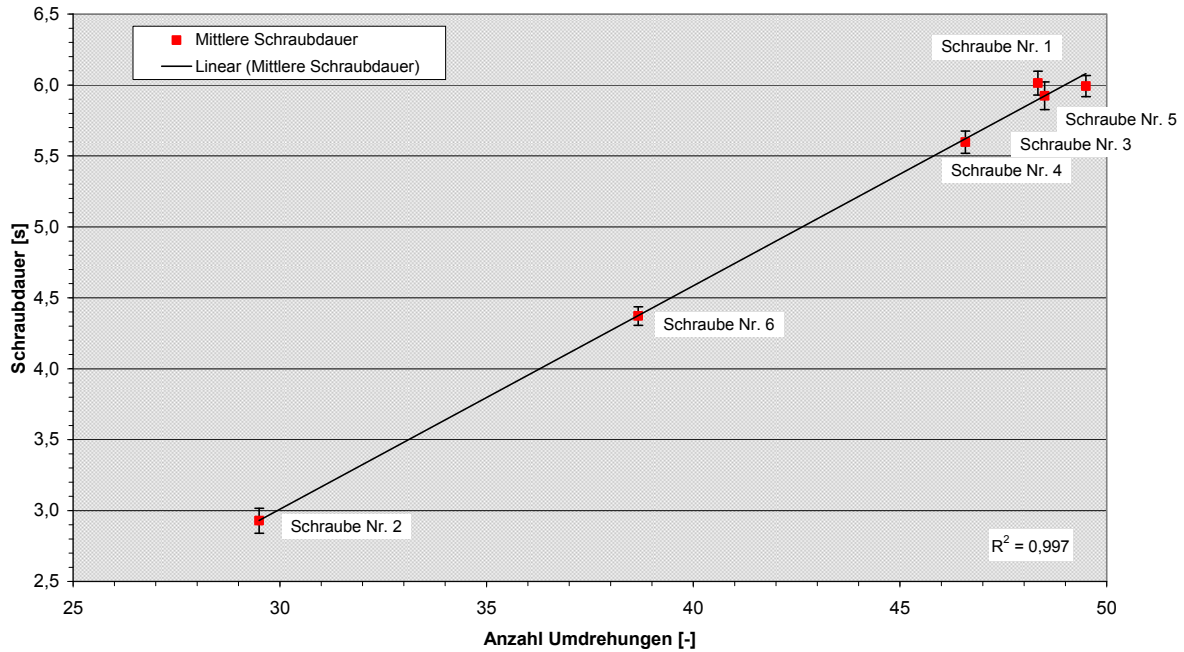


Abb. 5.61 Zusammenhang zwischen der persönlichen und der technischen Schraubdauer

Es zeigt sich, dass es für alle Versuchspersonen im Durchschnitt einen sehr starken linearen Zusammenhang ($R^2 = 0,997$) gibt. In der weiteren Auswertung wird daher die persönliche Schraubdauer für die Auswertung hinzugezogen.

Die gemessenen Schraubdauer-Werte für die 53 Versuchspersonen (18 Messungen pro Person) wird in Abbildung 5.62, der Mittelwert aus den drei Durchläufen wird in Abbildung 5.63 abgebildet.

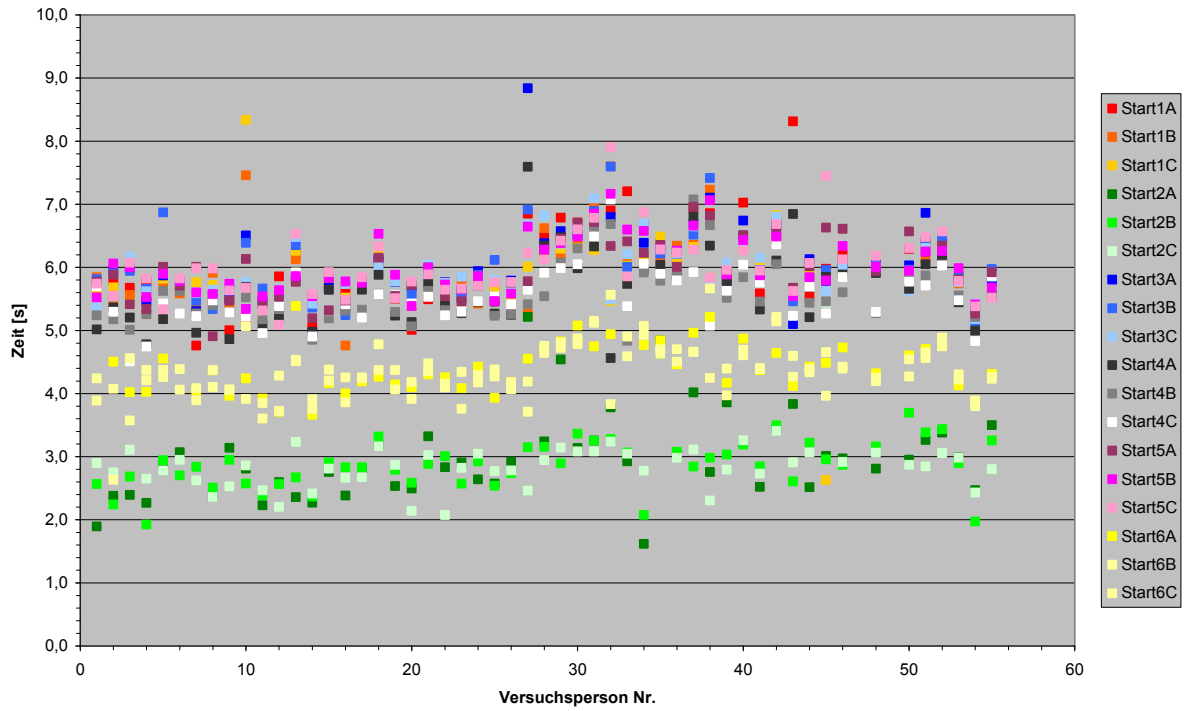


Abb. 5.62 Persönliche Schraubdauer (53 Versuchspersonen à 18 Messungen)

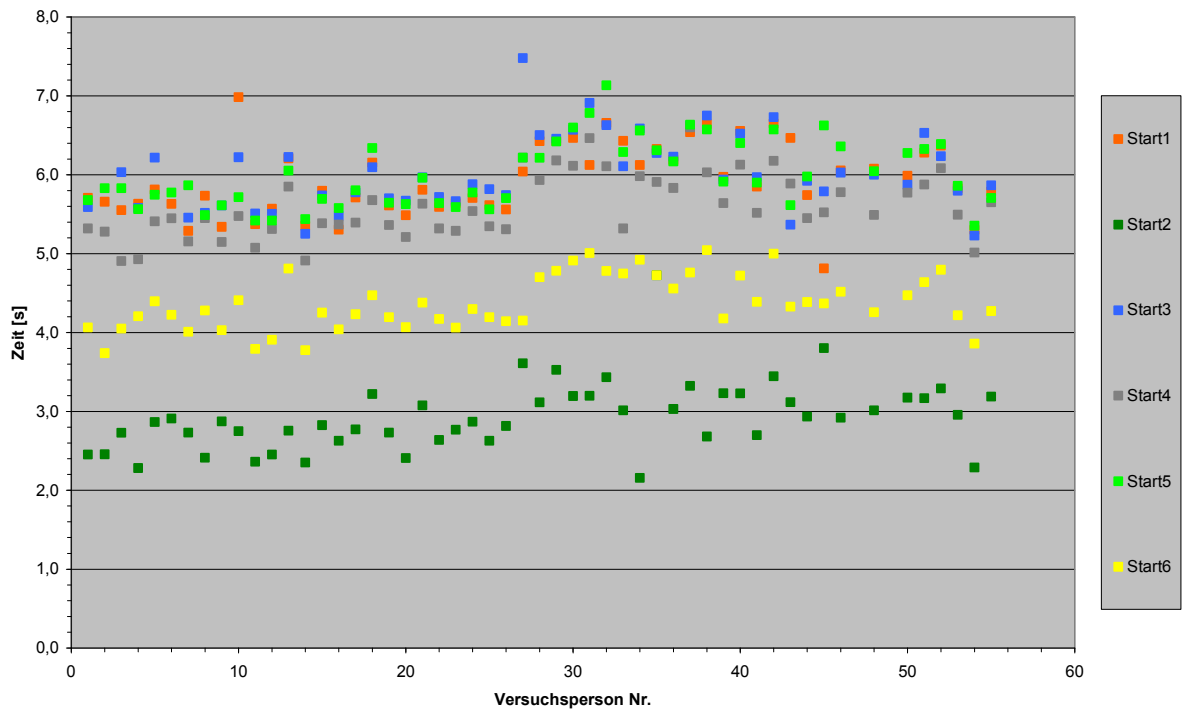


Abb. 5.63 Persönliche Schraubdauer (53 Versuchspersonen; Mittelwert aus 3 Durchläufen)

Wie Abbildung 5.64 zeigt, hat die Altersgruppe 1 die geringste Schraubdauer. Das heißt diese Gruppe hat im Durchschnitt am schnellsten den Betätigungsschalter durchgedrückt und den Schraubversuch begonnen.

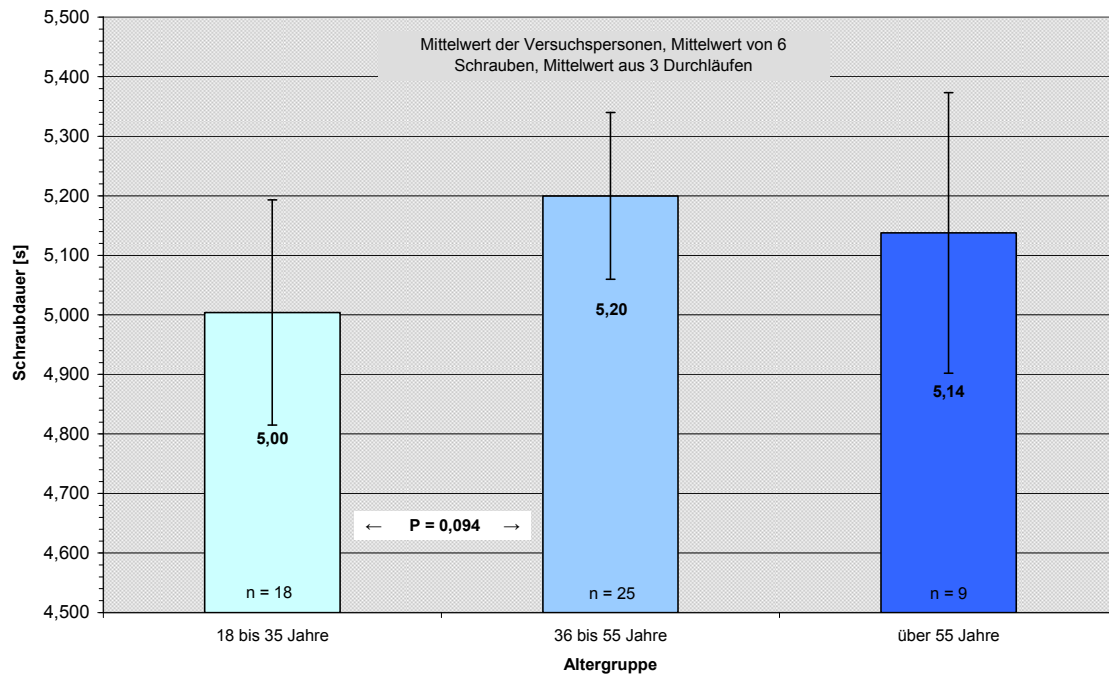


Abb. 5.64 Persönliche Schraubdauer getrennt für drei Altersgruppen

5.4.4.2 Reaktionszeit

Bei Vergleich der Reaktionszeiten zwischen den drei Altersgruppen kann festgestellt werden, dass im Durchschnitt bei der Altersgruppe 2 die geringste Reaktionszeit gemessen wurde (0,240 s).

Diese Zeit ist geringer als die Reaktionszeit der AG 3 (0,269 s). Die AG 1 liegt mit 0,248 s in etwa auf dem Niveau der AG 2 (Abbildung 5.65).

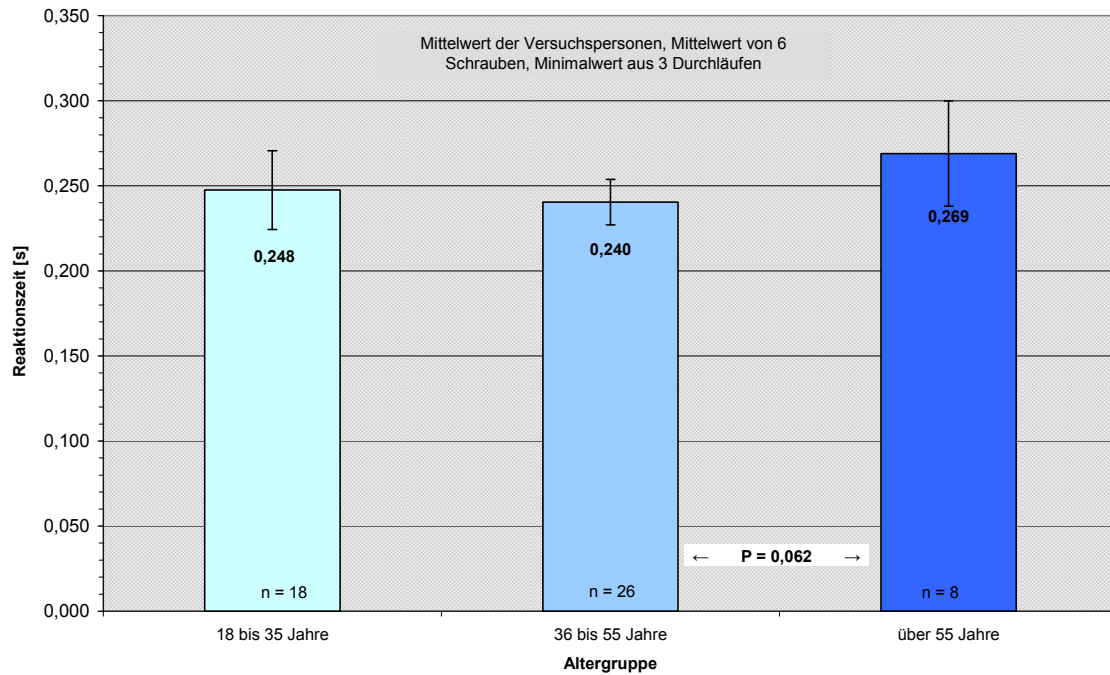


Abb. 5.65 Reaktionszeit in Abhängigkeit vom Alter (Mittelwert von 6 Schrauben)

Werden die Schraubvorgänge der Schrauben einzeln betrachtet, so ist festzustellen, dass die Versuchspersonen der Altersgruppe 3 bei allen sechs Schrauben die längste Zeit brauchen, um den Betätigungstaster loszulassen (Abb. 5.66).

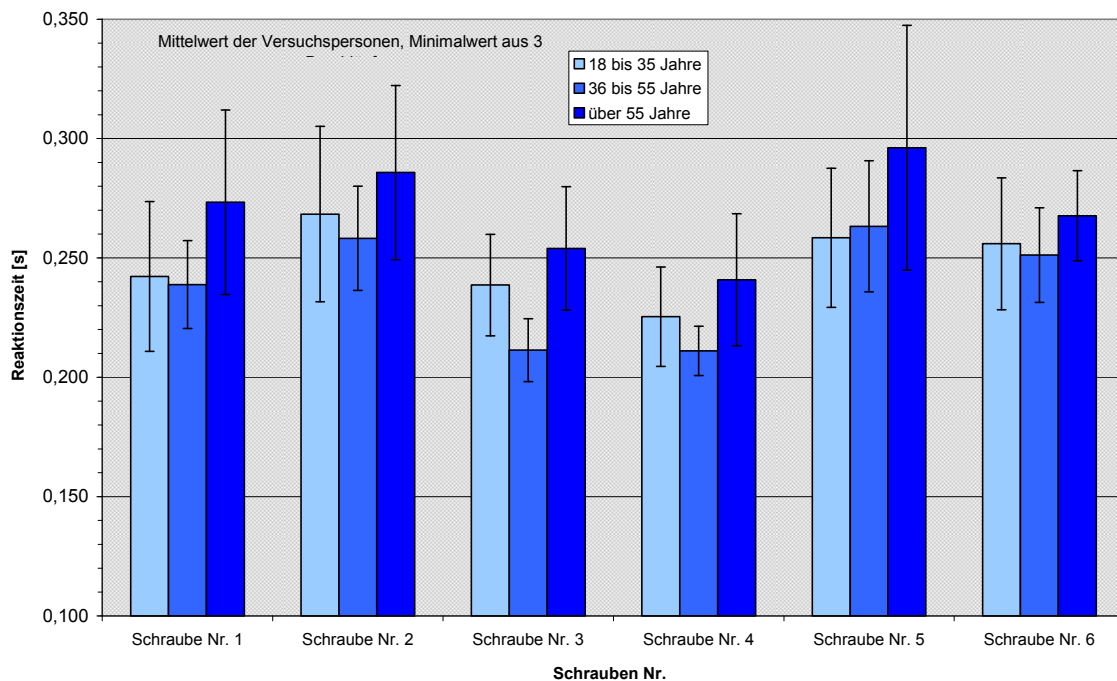


Abb. 5.66 Reaktionszeit in Abhängigkeit vom Alter

5.4.4.3 Elektrische Muskelaktivität

Das EMG beim Reaktionsvorgang (Schraube blockiert) ist bei allen Versuchspersonen größer als beim Schraubvorgang. Dies gilt für den m. flexor carpi ulnaris und den m. biceps brachii.

Zwischen den Altersgruppen ist kein Unterschied in der relativen elektrischen Muskelaktivität zu erkennen (Abbildung 5.67).

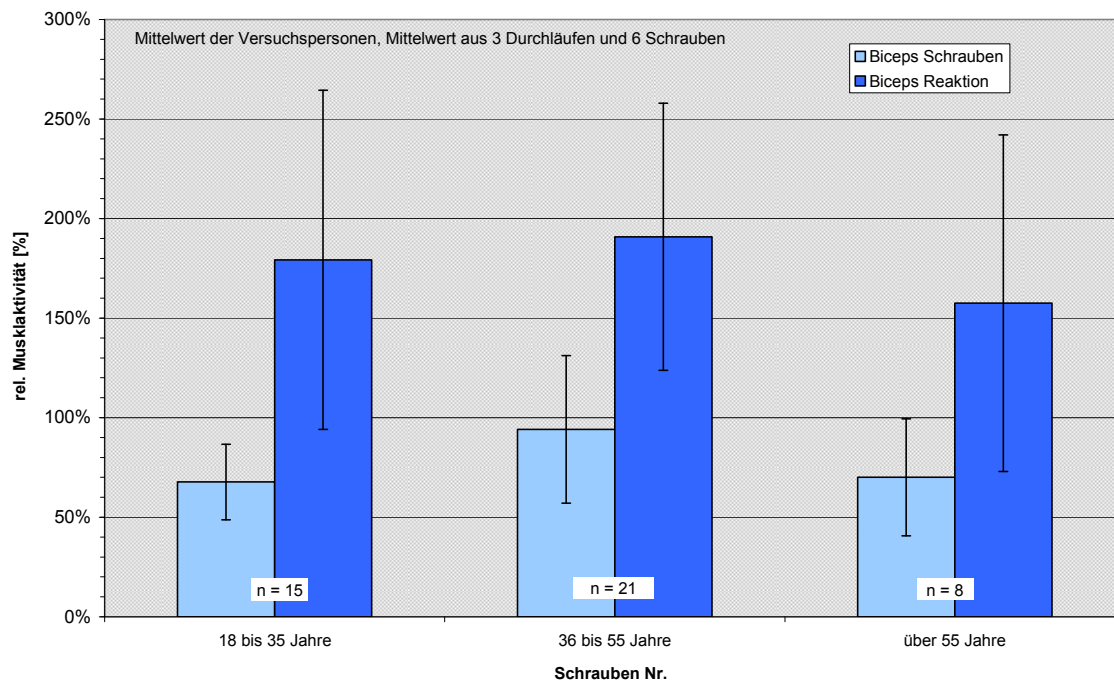


Abb. 5.67 Relative Elektrische Muskelaktivität beim Schrauben und beim Blockieren (m. biceps brachii)
[Aufgrund von technischen Problemen konnte nicht bei allen Versuchspersonen die elektrische Muskelaktivität gemessen werden.]

5.4.5 Ergebnisse – nach der Exposition

5.4.5.1 Greifkraft

Nach Beendigung der Schraubversuche wurde bei allen Versuchspersonen die maximale Greifkraft F_{gr} der rechten und der linken Hand bestimmt (Maximalwert aus drei Durchläufen).

Die jüngste Altersgruppe verfügt signifikant über die höchsten Greifkräfte F_{gr} (570 N). Die geringsten Kräfte wurden bei den ältesten Versuchspersonen gemessen (458 N) (Abbildung 5.68).

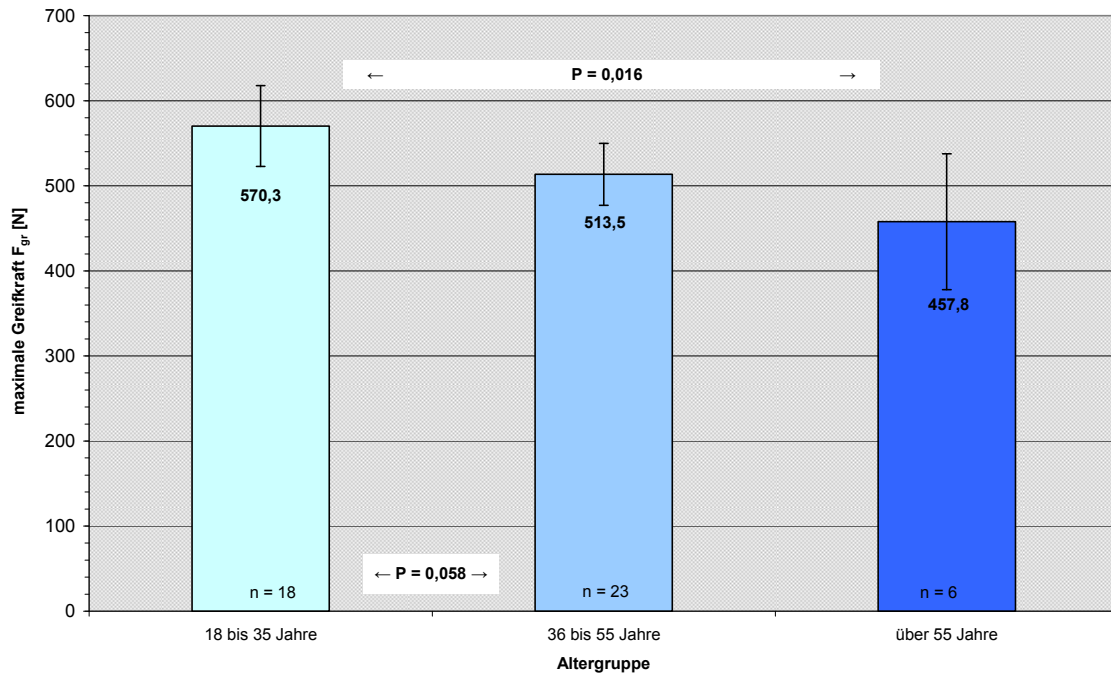


Abb. 5.68 Maximale Greifkraft der dominanten Hand (Maximalwert aus drei Versuchen)

Die Mehrzahl der Versuchsteilnehmer hatte mit der rechten Hand (dominante Hand) mehr Kraft als mit der Linken. Der einzige Linkshänder konnte sowohl rechts als auch links gleich viel Kraft aufbringen (Abb. 5.69).

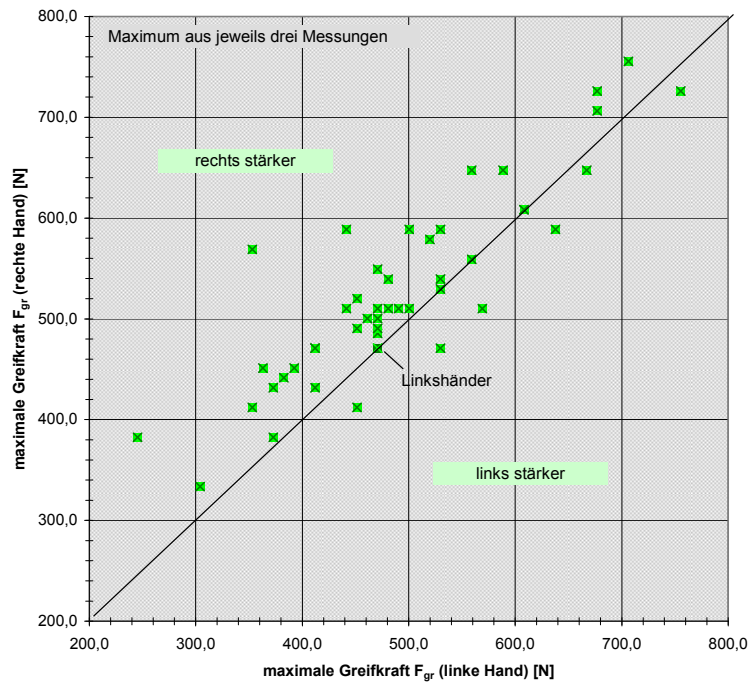


Abb. 5.69 Maximale Greifkraft: Vergleich rechte Hand mit linker Hand

5.4.5.2 Subjektive Einschätzung

Am Ende des Versuchs sollten die Teilnehmer auf einer visuellen Analogskala VAS (10 cm langer Strich) ankreuzen, wie hoch sie persönlich den experimentellen Versuch einschätzen (0 cm entspricht keine Anstrengung) (Abbildung 5.70).

Wie anstrengend empfanden Sie das Schrauben?

überhaupt nicht extrem anstrengend

Begründung:

Abb. 5.70 Visuelle Analogskala

Die subjektive Belastungseinschätzung (Abbildung 5.71) zeigt, dass die Altersgruppe 2 die Belastung am niedrigsten einschätzt (VAS = 1,5 cm), gefolgt von der Altersgruppe 3, die die Belastung höher einschätzt. Die Altersgruppe 1 gibt hier die höchste Beanspruchung an (VAS = 3,2 cm).

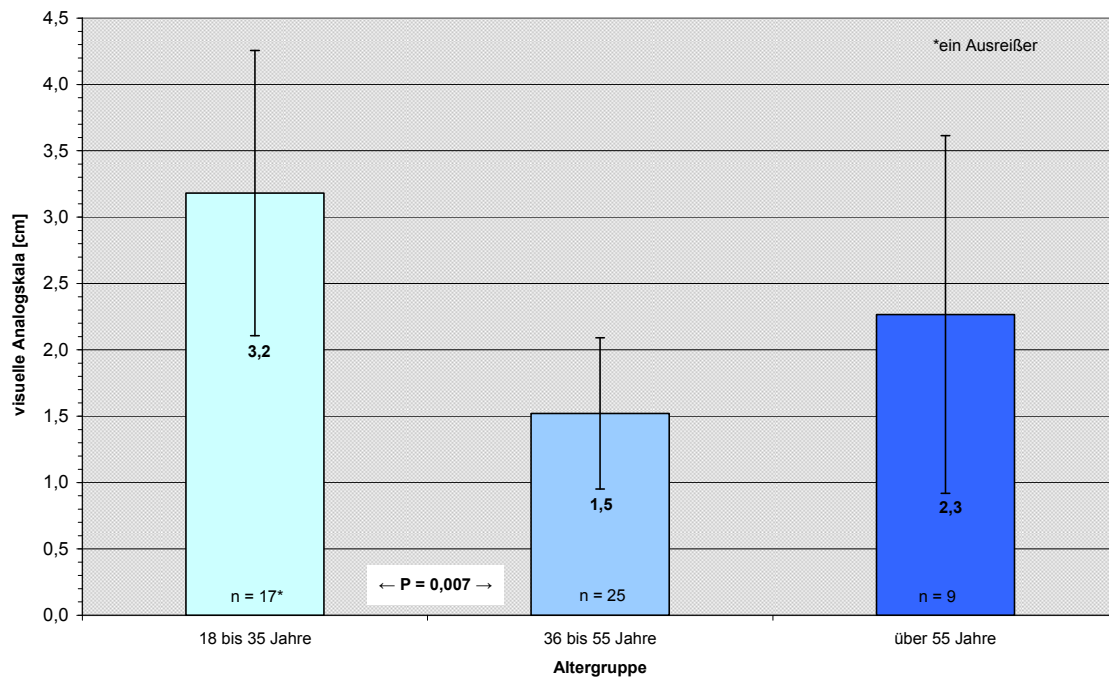


Abb. 5.71 Subjektive Einschätzung des Schraubversuchs

5.4.6 Diskussion

5.4.6.1 Einfluss der Erfahrung im Umgang mit Handmaschinen auf die Greifkraft

Wird bei der Analyse der maximalen Greifkraft F_{gr} die Erfahrung der Versuchspersonen berücksichtigt, kann festgestellt werden, dass die Erfahrenen (Definition: Erfahrungswert ≥ 3) mit durchschnittlich 572 N signifikant höhere Greifkräfte besitzen als die weniger Erfahrenen mit 509 N (Definition: Erfahrungswert < 3) (Abb. 5.72).

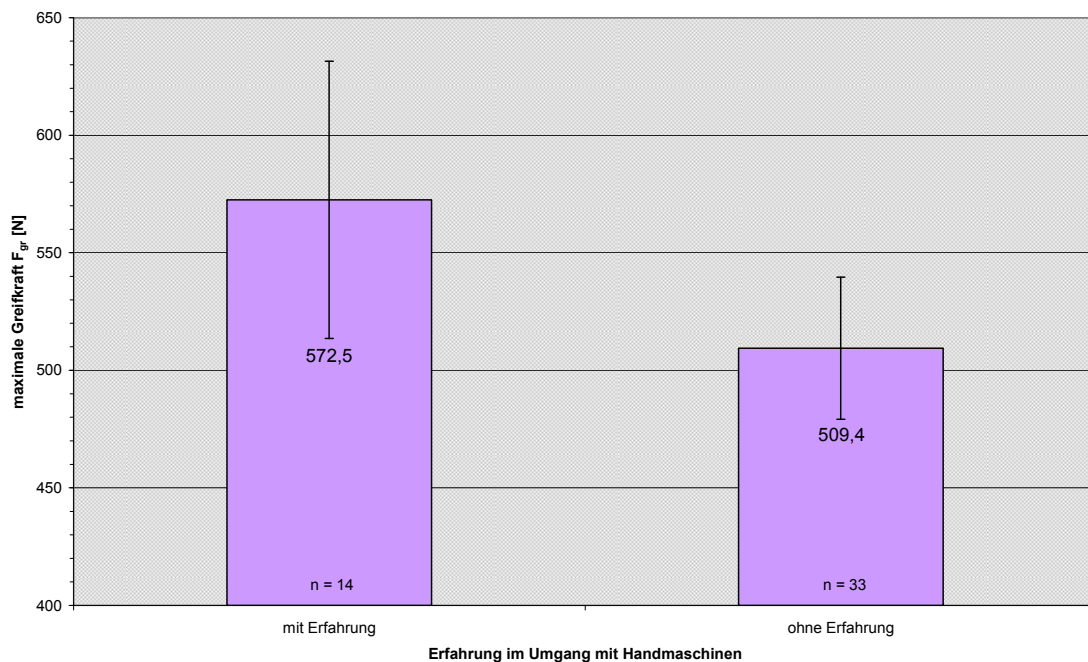


Abb. 5.72 Maximale Greifkraft und Erfahrung der Versuchspersonen

Am deutlichsten ist der erfahrungsabhängige Unterschied in der maximalen Greifkraft F_{gr} in der Altersgruppe 3.

Mit 544 N maximaler Greifkraft liegen die erfahrenen über 55-Jährigen in der Größenordnung der AG 2 und haben nur ca. 13 % geringere Werte als die Erfahrenen der Altersgruppe 1 und liegen mit den Unerfahrenen der AG 1 gleich auf (Abbildung 5.73).

Hieraus kann geschlossen werden, dass tatsächlich die Erfahrung geriatrisch bedingte Kraftverluste kompensiert.

Allerdings muss hier auch der Hinweis erfolgen, dass in dieser Altersgruppe nur bei sechs Personen die Greifkraftmessungen erfolgten, wobei die Personenanzahl nicht gleich verteilt war. Diese Aussagen sind als Trendaussagen zu verstehen.

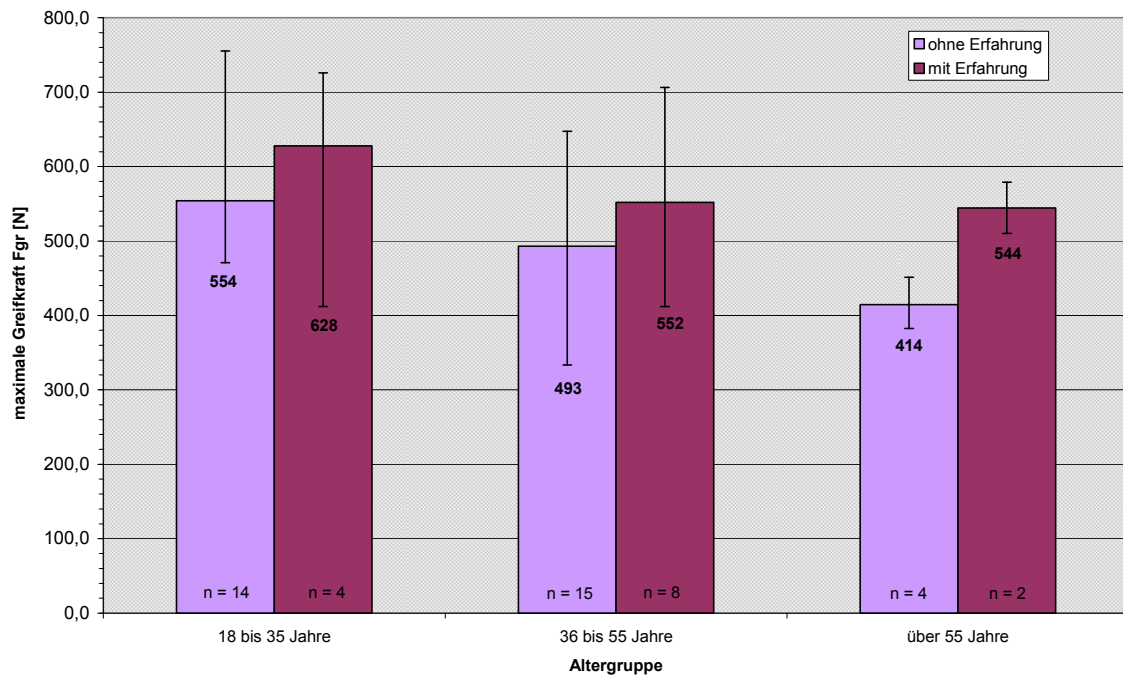


Abb. 5.73 Maximale Greifkraft, Erfahrung und Alter der Versuchspersonen (Angabe des Mittelwerte und der Maxima und Minima)

5.4.6.2 Einfluss der Erfahrung auf die subjektive Einschätzung

Tendenziell bewerteten die Personen mit Erfahrung die Schraubversuche weniger anstrengend (VAS = 1,6 cm) als die Personen mit wenig Erfahrung (VAS = 2,4 cm) (Abbildung 5.74).

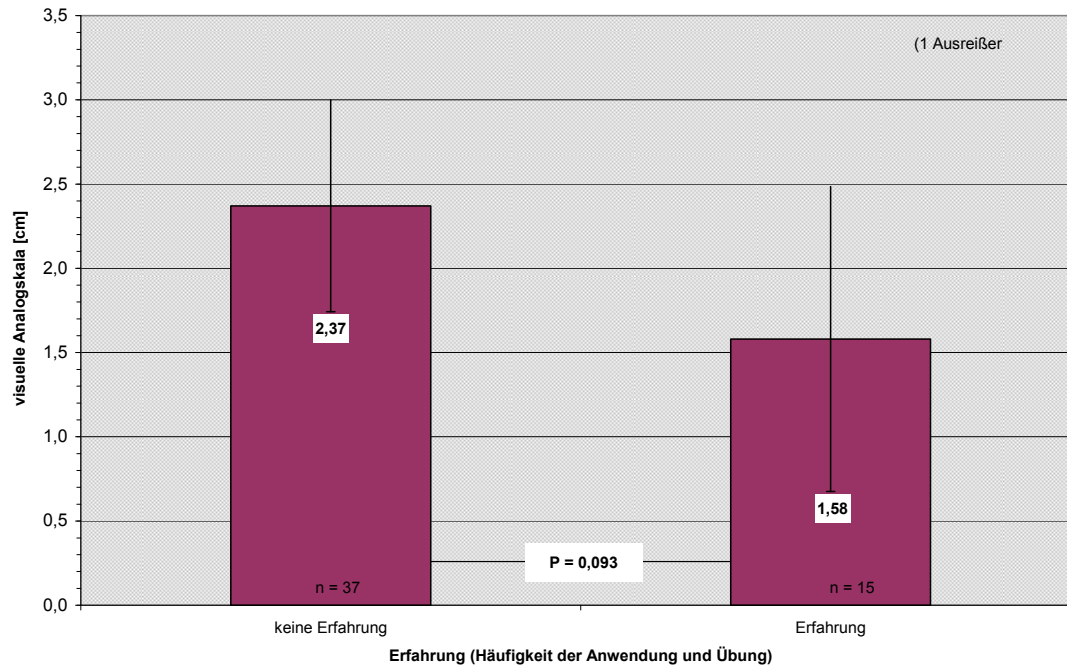


Abb. 5.74 Subjektive Einschätzung des Schraubversuchs in Abhängigkeit von der Erfahrung (1 Ausreißer eliminiert)

5.4.6.3 Einfluss der Erfahrung auf die Reaktionszeit

Personen mit Erfahrung weisen, wie in Abbildung 5.75 ersichtlich, eine höhere Reaktionszeit als Personen ohne Erfahrung auf (nicht signifikant).

Begründung: Personen mit Erfahrung sind es gewohnt, die Bohrmaschine nach einem plötzlichen Festsetzen des Bohrers stark festzuhalten, um eine Verletzung des Handgelenks zu verhindern. Bei einer Umdrehungsgeschwindigkeit von 400 U/min könnte auch bei einer sehr schnellen Reaktionszeit im Loslassen des Tasters nicht verhindert werden, dass das Handgelenk des Bedieners um über 180° verdreht wird (siehe Kapitel 6.3).

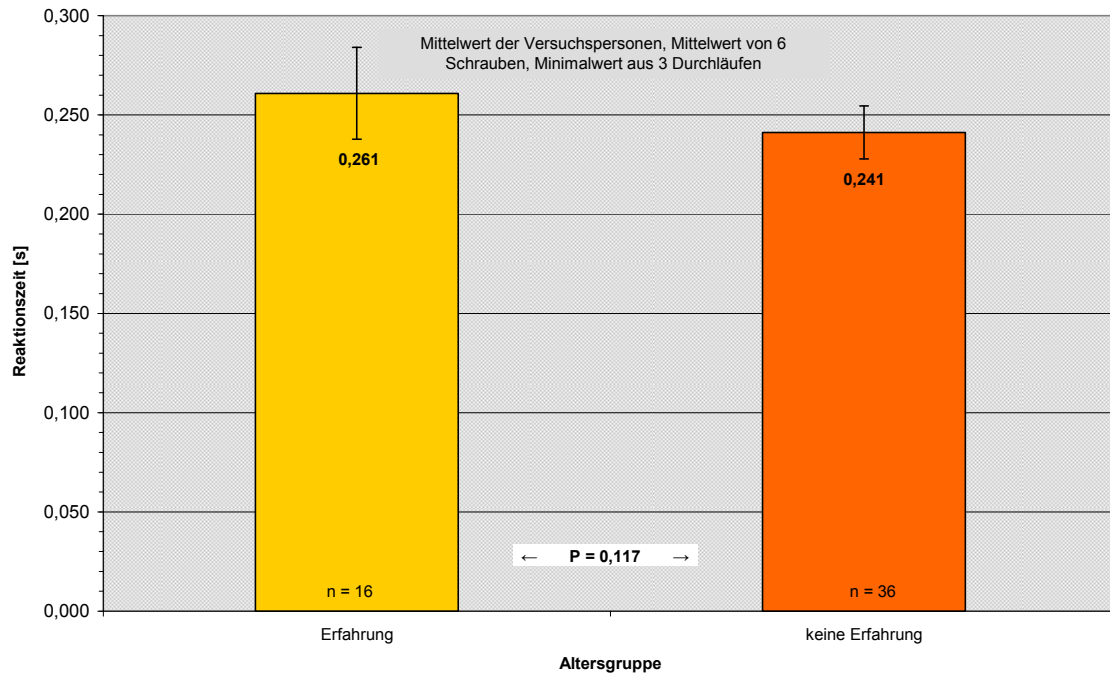


Abb. 5.75 Reaktionszeit in Abhängigkeit von der Erfahrung der Versuchsperson

5.4.6.4 Reaktionszeit und Schraubdauer

Erstaunlicherweise ist die Reaktionszeit von der Schraubdauer abhängig (Abbildung 5.76). Je kürzer die Schraubdauer, desto länger ist die Reaktionszeit. In der Altersgruppe bis 36 Jahren ist die Reaktionszeit bei kurzer Schraubdauer signifikant länger als bei langer Schraubdauer ($P = 0,059$).

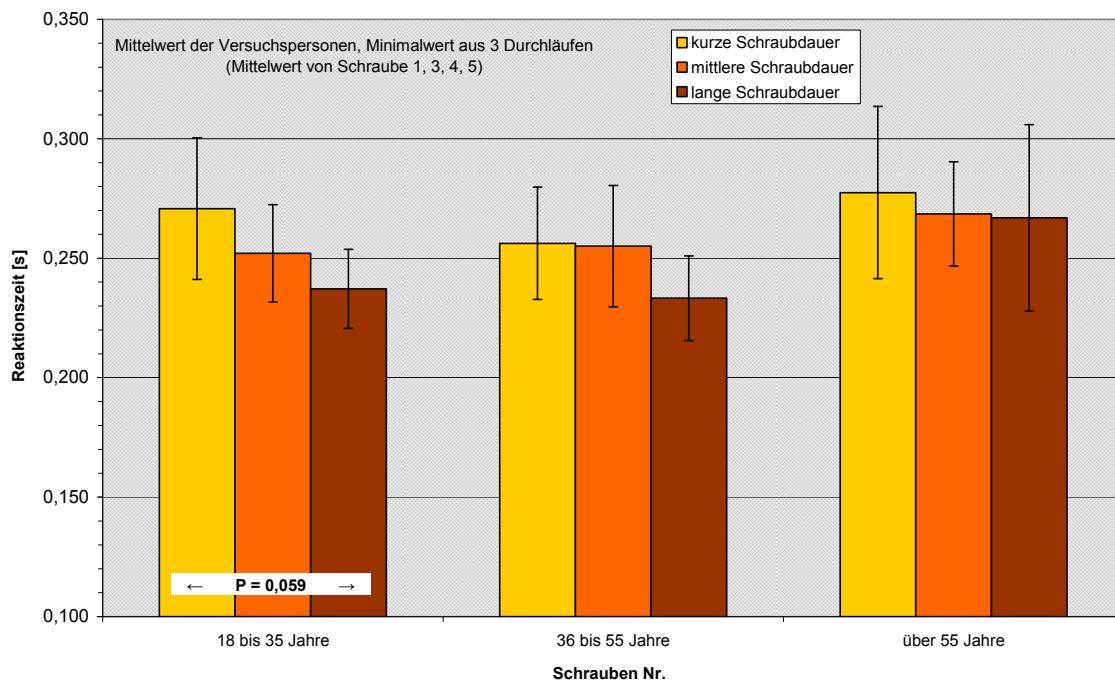


Abb. 5.76 Reaktionszeit in Abhängigkeit von der Schraubdauer

5.4.6.5 Leistungsfähigkeit (objektiv)

Die Höhe der gemessenen Greifkräfte sinkt mit zunehmendem Lebensalter, fällt also von Altersgruppe 1 bis zur Altersgruppe 3 ab.

Die mittlere Reaktionszeit aller Versuchsteilnehmer beträgt ca. 0,25 s. Werden die Probanden gezählt, die weniger oder gleich 0,25 s benötigt haben, ergibt sich die in Tabelle 5.10 aufgeführte Verteilung (siehe auch Abbildung 5.77).

Tab. 5.10 Häufigkeitsverteilung der Reaktionszeiten

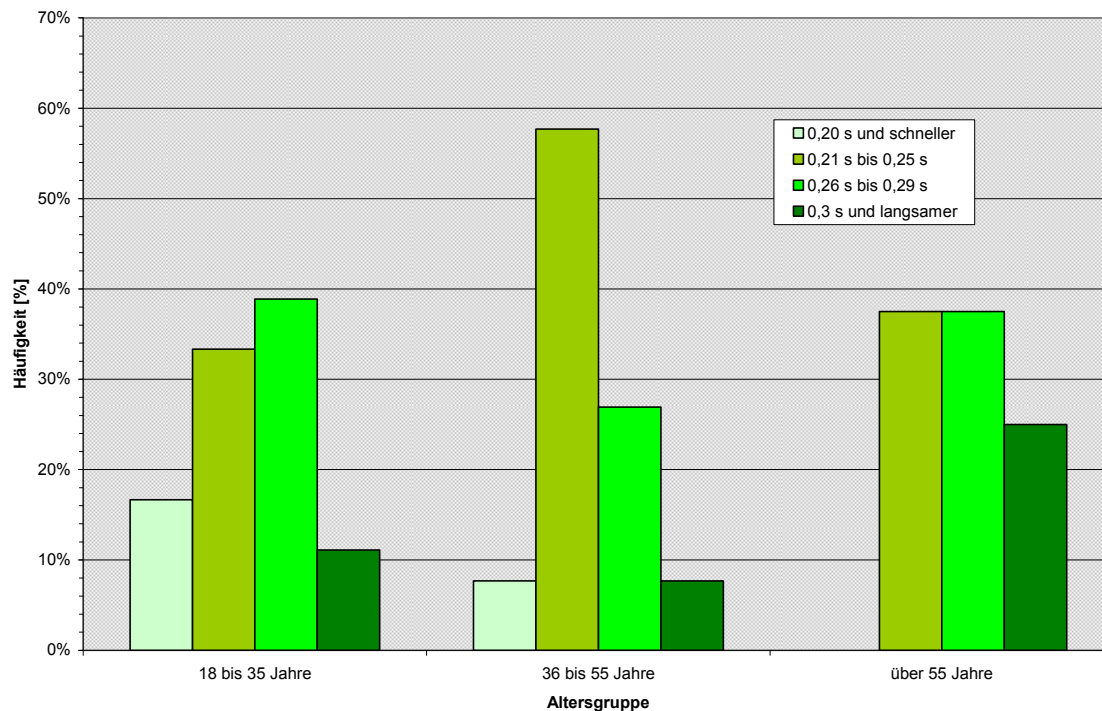
	Alter 18 bis 35 Jahre		Alter 36 bis 55 Jahre		Alter > 55 Jahre	
Reaktionszeit [s]	≤ 0,25	> 0,25	≤ 0,25	> 0,25	≤ 0,25	> 0,25
Anzahl	9	9	17	9	3	5
prozentuale Häufigkeit	50 %	50 %	65 %	35 %	38 %	63 %

Ausgehend von der mittleren Reaktionszeit haben 38 % der Altersgruppe 3 eine ebenso geringe Reaktionszeit wie 50 % der Altersgruppe 1. Interessanterweise haben 65 % der Altersgruppe 2 eine geringe Reaktionszeit. Dieser Wert liegt höher als der vergleichbare der Altersgruppe 1.

In Tabelle 5.11 ist zu erkennen, wie viele Versuchspersonen sich im Laufe der Versuche verschlechtert und wie viele sich verbessert haben (Vergleich: Reaktionszeit erster Schraubwiederholung zu letzter Schraubwiederholung; getrennt für alle sechs Schrauben) und Abbildung 5.77 zeigt die relative Häufigkeit der gemessenen Reaktionszeiten.

Tab. 5.11 Häufigkeitsverteilung der Reaktionszeitenänderungen

	Alter 18 bis 35 Jahre		Alter 36 bis 55 Jahre		Alter > 55 Jahre	
Reaktionszeit [s]	verbessert	verschlechtert	verbessert	verschlechtert	verbessert	verschlechtert
Anzahl	11	7	15	11	4	4
prozentuale Häufigkeit	61 %	39 %	58 %	42 %	50 %	50 %

**Abb. 5.77** Relative Häufigkeit der gemessenen Reaktionszeiten

Verknüpft man die einzelnen Aussagen zur Leistungsfähigkeit miteinander, so lässt sich erkennen, dass

- die Altersgruppe mit der höchsten Greifkraft nicht die schnellsten Reaktionszeiten hat und, dass
- die subjektive Beanspruchungseinschätzung nicht der Häufigkeitsverteilung der Reaktionszeit folgt. Legt man diese zugrunde, so müsste die Reihenfolge der Altersgruppen von AG 2 zu AG 1 und dann zu AG 3 geordnet werden. Hier besteht also eine Diskrepanz in der Aussage.

Vergleicht man diese Interpretationen mit den Darstellungen zur Erfahrung nach Punkt 5.1.3, so kann man feststellen, dass sich danach in der Altersgruppe AG 2 sowohl eine größere Anzahl von Versuchspersonen mit großer Greifkraft als auch eine größere Anzahl von Versuchspersonen befinden muss, die diesen Versuch als nicht so anstrengend empfanden.

Auch bei diesem Versuch zeigt sich, dass eine größere Anzahl von Versuchspersonen der Altersgruppe 3 (mehr als ein Drittel) der Kategorie „leistungsfähig“, vgl. Abschnitt 5.3.5, zuzuordnen ist. Davon ausgehend ergibt sich noch eine Steigerung der

Anzahl der Versuchspersonen mit einer Leistungssteigerung im Rahmen des Versuches C in der Altersgruppe 3. 50 % der Personen der Altersgruppe 3 gelingt es, ihre Reaktionszeit zu verbessern.

Insofern korrespondieren die Aussagen des Indikators Reaktionszeit sowohl mit den Ergebnissen des Versuches A als auch mit denen des Versuches B.

5.5 Verknüpfungen anthropometrischer Daten mit subjektiven Belastungseinschätzungen

Im Folgenden wird der Versuch unternommen, die Ergebnisse der Abschnitte 5.2 und 5.3 mit einem anderen Auswerteverfahren nach Möglichkeit verifizieren zu können. Begonnen wird mit dem Versuch B, dargestellt in Abschnitt 5.3

Für die Beurteilung möglicher Zusammenhänge und Abhängigkeiten zwischen den Kriterien *Körpergröße*, *Körpermasse*, *Unterarmlänge*, *Belastungsbeurteilung* und *Alter* ist zunächst die Bildung von Klassen (charakteristischen Gruppen) für die Kriterien notwendig. Für die späteren Auswertungen ist die Festlegung einer einheitlichen Klassenanzahl für alle Kriterien vorteilhaft.

Basierend auf den vorhandenen Daten und unter Berücksichtigung von Kapitel 5.1.1 wurden folgende Klassen definiert:

Tab. 5.12 Definition von verschiedenen Klassen

Kriterium	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3
Alter	18 ... 35	36 ... 55	56 ... 67
Körpergröße in cm	166 ... 175	176 ... 182	183 ... 192
Körpermasse in kg	62 ... 77	78 ... 88	89 ... 103
Unterarmlänge in cm	43 ... 46	47 ... 49	50 ... 51
Beurteilung der Belastung	normal	schwer	außergewöhnlich

Aus den vorhandenen Daten wird nun eine doppelsymmetrische Matrix aufgebaut, dargestellt in Abbildung 5.78. Dabei entsprechen die vertikal angeordneten Kriterien den Basiskriterien und die horizontal angeordneten den Auswertekriterien. Die vertikal angeordneten Ergebnisse der Auswertekriterien werden in der Zeile der zugehörigen Untergruppierung des Basiskriteriums horizontal gruppiert.

Die angegebenen Werte entsprechen den Klassenwerten, d. h. der Anzahl der Versuchspersonen, die für die jeweilige Kriterien-Kombination in die entsprechende Klasse einzuordnen sind.

In dieser Auswertematrix ist die Hauptdiagonale nicht besetzt, weil das Basiskriterium nicht gleichzeitig Auswertekriterium sein kann. An den jeweiligen Kreuzungspunkten eines Basiskriteriums und Auswertekriteriums entstehen ebenfalls doppelsymmetrische Matrizen.

Diese Matrizen werden zur Kontrolle durch eine Spalte erweitert, in der die jeweilige Zeilensumme der Matrix, bezogen auf die jeweilige Untergruppe des Basiskriteriums steht. Die Zeilensumme bildet sich aus der Anzahl der einzelnen Ereignisse des Auswertekriteriums. Die Spaltensumme muss in jedem Fall die Anzahl der Versuchspersonen ergeben.

		Körpergröße [KöGr]			Körpermasse [KoMa]			Unterarmlänge [UAL]			Belastung [Bel]			Altersgruppen [AG]			
		KöGr_1	KöGr_2	KöGr_3	KoMa_1	KoMa_2	KoMa_3	UAL_1	UAL_2	UAL_3	Bel_1	Bel_2	Bel_3	AG1	AG2	AG3	
Größe KöGr [cm]	166...175				4	4	4	8	4	0	4	5	3	1	3	8	12
	176...182				6	4	7	4	11	2	4	13	0	8	4	5	17
	183...192				3	5	3	0	4	7	0	10	1	6	4	1	11
Masse KoMa [kg]	62...77	4	6	3				3	8	2	1	11	1	8	1	4	13
	78...88	4	4	5				3	6	4	4	7	2	4	4	5	13
	89...103	4	7	3				6	5	3	3	10	1	3	6	5	14
UAL [cm]	43...46	8	4	0	3	3	6				6	5	1	0	3	9	12
	47...49	4	11	4	8	6	5				2	14	3	11	4	4	19
	50...51	0	2	7	2	4	3				0	9	0	4	4	1	9
Belastung	Normal	4	4	0	1	4	3	6	2	0				1	1	6	8
	Schwer	5	13	10	11	7	10	5	14	9				13	10	5	28
	Ausergew.	3	0	1	1	2	1	1	3	0				1	0	3	4
Alter	18...35	1	8	6	8	4	3	0	11	4	1	13	1				15
	36...55	3	4	4	1	4	6	3	4	4	1	10	0				11
	56...67	8	5	1	4	5	5	9	4	1	6	5	3				14
		12	17	11	13	13	14	12	19	9	8	28	4	15	11	14	40
		40			40			40			40			40			

Abb. 5.78 Auswertematrix

Die Auswertung bzw. Interpretation der nun vorliegenden Knotenpunkte der Matrix kann sowohl horizontal, vertikal als auch diagonal erfolgen. Die Schnelligkeit und Güte hängt von der Erfahrung des Auswertenden ab.

Als erläuterndes Beispiel wird die Verknüpfung des Basiskriteriums *Körpergröße* [KöGr] mit dem Auswertekriterium *Unterarmlänge* [UAL] gewählt:

Die in ihrer Häufigkeit nahezu gleich besetzte Diagonale gibt zu erkennen, dass mehrheitlich die Unterarmlänge direkt proportional zur Körpergröße ist. Dies betrifft 26 von 40 VP, also mehr als 50 % und ist wohl ein anthropometrisch erwartbares Ergebnis.

Ein Vergleich der Ergebnisse zeigt recht schnell, dass die Indikatoren Belastung und Lebensalter deutliche Ergebnisse in der Verknüpfung erbringen. Diese Ergebnisse sollen im Folgenden formuliert werden:

Eine Mehrzahl der Versuchspersonen in den Altersgruppen 1 und 2 empfindet die Belastung als schwer.

In der Altersgruppe 3 empfinden etwa 50 % der Versuchspersonen die Belastung als normal.

Da die Befragung nach der Belastung im Umkehrschluss natürlich bedeutet, dass man das Ergebnis auch als ein Ergebnis der Leistungsbereitschaftsaussage deuten kann, so findet man im Weiteren, dass ausgehend vom Erfahrungshorizont praktischer Tätigkeiten die Zahlen in den Altersgruppen 1 und 2 wohl aussagen, dass hier den Versuchspersonen die praktische Erfahrung oder das Training ihrer Fähigkeiten und Fertigkeiten fehlt. Eine Mehrheit der Versuchspersonen der beiden genannten Lebensaltersgruppen empfindet die Belastung zwar als schwer, aber kann die Anforderung

derungen offensichtlich problemlos erfüllen. Jedenfalls ist die Einschätzung, die Belastung sei außergewöhnlich, kaum nennenswert.

Anders hingegen verhält es sich in der Altersgruppe 3. Hier empfinden offensichtlich etwa 50 % der befragten Versuchspersonen die Belastung als normal. Das heißt aber auch im Weiteren, dass 50 % der Altersgruppe 3 diese Leistung nicht problemlos erbringen können. Bei ersterer Gruppe ist unbedingt die große Praxiserfahrung im Laufe eines Arbeitslebens als Ursache für die Belastungsangabe zu vermuten.

Unterteilt man die Belastungsabfrage in ihrer Benennung anders, also z. B.: die unterste Stufe ist problemlos leistbar, die zweite Stufe leistbar und die dritte Stufe nicht leistbar, so kommt man unter diesem Gesichtspunkt ziemlich schnell zu den im Abschnitt 5.3.5.3 verwendeten Begriffen „leistungsfähig“ und „eingeschränkt leistungsfähig“.

Das Ergebnis bedeutet demnach:

50 % der Versuchspersonen der Altersgruppe 3 sind offensichtlich „leistungsfähig“ und

50 % dieser Altersgruppe sind „eingeschränkt leistungsfähig“

Mithin gibt es durchaus Grund zu der Feststellung, dass die in den Abschnitten 5.3.5 und 5.4.6 dargestellten Ergebnisse hiermit eine Bestätigung erfahren haben. Natürlich ist das verwendete Versuchspersonenkollektiv noch nicht groß genug, um von einem bestätigten Ergebnis sprechen zu können. Dazu bedarf es einer Ausweitung derartiger multifaktorieller Untersuchungen auf eine größere Anzahl von Versuchspersonen.

Man kann aus diesem Ergebnis den vorsichtigen Schluss ziehen, dass es für 50 % der Versuchspersonen der Altersgruppe 3 möglicherweise nicht notwendig ist, in Bezug auf die Anwendung handgeführter oder handgehaltener Arbeitsmittel Anstrengungen zu deren konstruktiver Verbesserung für die Anwendung durch ältere Arbeitnehmer zu unternehmen. Offensichtlich führen bei diesen Arbeitnehmern geriatrische Veränderungen zu keinen Anwendungseinschränkungen. Diese Gruppe ist in Bezug auf die Fragestellung als „leistungsfähig“ zu bezeichnen.

Jedoch trifft für die zweiten 50 % der Versuchspersonen unbedingt zu, dass es ihnen bei der Anwendung handgehaltener oder handgeführter Arbeitsmittel passieren kann, dass ein ansonsten als sicher in der Anwendung zu bezeichnendes Arbeitsmittel durch die persönliche geriatrische Disposition des jeweiligen Anwenders im technologischen Prozess zu Gefährdungen führen kann. Diese Gruppe ist in Bezug auf die Fragestellung als „eingeschränkt leistungsfähig“ zu bezeichnen. Hier wären durchaus Anstrengungen zur konstruktiven Verbesserung der Arbeitsmittel für diese Personengruppe anzuraten.

Folgt man dieser Interpretation, so ergibt sich daraus eine entscheidende Frage für das weitere Vorgehen:

Wie kann man diese beiden Arbeitnehmergruppen der Altersgruppe 3 in möglichst einfacher Weise und möglichst treffsicher voneinander unterscheiden?

Das hier vorgestellte Verfahren hat im Hinblick darauf den Nachteil, im Ergebnis nicht treffsicher zu sein, denn ein Rückschluss von den Ergebnissen auf eine konkrete Versuchsperson ist durch die hier angewendete Klassierungs- und Auswertemethode nicht möglich.

In Bezug auf die Entwicklung des Lebensbaumes der Bundesrepublik Deutschland und in Verbindung mit der erfolgten Verschiebung des Renteneintrittsalters zu höhe-

ren Lebensalterzahlen sind an dieser Stelle weitere Forschungsbemühungen in dieser Richtung unbedingt angeraten.

Die Indikatoren Körpergröße, Körpermasse und Unterarmlänge erbringen bei ihrer Verknüpfung mit dem Indikator Belastung keine signifikanten Aussagen. Als Beispiele werden genannt:

- Eine Mehrheit der Versuchspersonen der Belastungsgruppe 2 hat eine mittlere und große Körpergröße.
- Die Versuchspersonen der Belastungsgruppe 2 sind über alle Massegruppen gleich verteilt.

Diese wenigen Beispiele zeigen, dass im vorgestellten Verfahren offensichtlich nur die Verknüpfung der Indikatoren Belastung und Alter zu eindeutigen Ergebnissen führt. Dies war in Bezug auf das Forschungsziel auch so gewollt, das Verfahren kann also auf diese Verknüpfung beschränkt werden. Die erreichbaren Ergebnisse überraschen allerdings in ihrer deutlichen Aussage.

5.6 Verknüpfung anthropometrischer Daten mit dem Datensatz „Handkräfte“

Im Rahmen des Versuches „Hochdruckreiniger“ (siehe Abschnitt 5.2) wurden auch Handkräftemessungen mit einem Dynamometer durchgeführt. Hierbei sollten die Versuchspersonen am Dynamometer eine maximale Greifkraft erzeugen und mit der jeweiligen Hand während der Ablesung des Wertes diesen auch anhalten (Abbildung 5.79).



Abb. 5.79 Handdynamometer

Die Versuche wurden, beginnend mit der rechten Hand, jeweils vor und nach einer Schwingungsexposition des Hand-Arm-Systems oder beider Hand-Arm-Systeme je nach Versuchsdurchführung durchgeführt.

Die folgende Abbildung 5.80 zeigt die Auswertematrix für die Ergebnisse der Versuche mit dem Dynamometer, die Rahmen des Gesamtversuches ausgeführt wurden. Auch hierbei zeigte sich, dass sich die Handkraftwerte in der Matrix nahezu gleichmäßig verteilen.

Die Versuche mit dem Dynamometer ergeben bei dem Vergleich der Verknüpfung der fünf Indikatoren miteinander keine so deutlichen Aussagen, wie sie für die Verknüpfung im Kapitel 5.6 beschrieben werden konnten.

		gleichverteilte Dynamometer-Greifkraftbereiche [N] (Bereich von 140 N)														
Greifkraft H... 140 N	a ... 310 ... 440 b ... 450 ... 580 c ... 590 ... 730	1. Versuch						Expositionen 1..3	2. Versuch							
		rechte Hand			linke Hand				rechte Hand			linke Hand				
		1Ra	1Rb	1Rc	1La	1Lb	1Lc		2Ra	2Rb	2Rc	2La	2Lb	2Lc		
Körpergröße [cm]	166...175	5	7	0	8	4	0		4	8	0	4	8	0	12	40
	176...182	5	8	3	7	9	0		6	8	2	6	10	0	16	
	183...192	0	8	4	0	11	1		1	6	5	0	11	1	12	
Körpermasse [kg]	62...77	5	7	1	7	6	0		5	7	1	4	9	0	13	40
	78...88	1	11	1	1	12	0		2	9	2	0	13	0	13	
	89...103	4	5	5	7	6	1		4	6	4	6	7	1	14	
Unterarm- länge [cm]	43...46	5	6	1	8	4	0		5	7	0	4	8	0	12	40
	47...49	5	10	4	6	12	1		5	10	4	6	12	1	19	
	50...51	0	7	2	1	8	0		1	5	3	0	9	0	9	
Belastung	Normal	3	5	0	4	4	0		3	5	0	3	5	0	8	40
	Schwer	5	16	7	9	18	1		6	15	7	6	21	1	28	
	Außergew.	2	2	0	2	2	0		2	2	0	1	3	0	4	
Alter	18...35	3	7	5	4	10	1		3	8	4	4	10	1	15	40
	36...55	1	8	2	3	8	0		1	7	3	1	10	0	11	
	56...68	6	8	0	8	6	0		7	7	0	5	9	0	14	
		10	23	7	15	24	1		11	22	7	10	29	1		
		40			40				40			40				

Abb. 5.80 Auswertematrix Handdynamometer

An dieser Stelle sollen ausgewählte Ergebnisse aufgeführt werden:

- Die Körpergröße 3 hat gegenüber der rechten Hand einen Kräfteabfall in der linken Hand vor und nach der Exposition aufzuweisen.
- Über 50 % der Versuchspersonen, die die Belastung als schwer empfinden, greifen mit einer mittleren Greifkraft und ändern den Greifkraftverlauf vor und nach der Exposition nur unwesentlich. Die rechte Hand ist dabei zu zwei Dritteln in der mittleren Greifkraft, zu einem Drittel in der hohen Greifkraft zu finden. Auch hier zeigt sich deutlich, dass die linke Hand gegenüber der rechten Hand einen Greifkraftabfall aufweist.
- Bei der unteren Altersgruppe 1 haben die Schwingungsexpositionen offensichtlich keinen Einfluss auf die Greifkraft, wobei in den beiden oberen Altersgruppen 2 und 3 mit der linken Hand nach einer Exposition jeweils stärker zugegriffen wird.

Die vorgestellten Ergebnisse kann man wie folgt interpretieren:

- Bei Rechtshändern zeigt die rechte Hand höhere Kräfte, ist also besser ausgebildet und trainiert. Dies ist ein zu erwartendes Ergebnis.
- Offensichtlich verursacht die Schwingungsexposition im linken Hand-Arm-System in den Altersgruppen 2 und 3 einen kurzzeitigen Trainings- oder auch Kraftaufbaueffekt. Im Hinblick auf die nun schon vielfältig therapeutisch angewendete Schwingungsexposition kann man auch hier von einem erwartbaren Ergebnis sprechen.

6 Konstruktionsvorschläge

6.1 Hochdruckreiniger

6.1.1 Bedienkräfte

Beim Bedienen der Hochdruckspritzpistole müssen über einen längeren Zeitraum folgende Kräfte aufgebracht werden:

- Rückstoßkraft $F_{\text{Rück}}$
- Gewichtskraft der Spritzpistole F_{Gewicht}
- Betätigungskraft (Auslöse- und Haltekraft) $F_{\text{Betätigung}}$

Die Rückstoßkraft $F_{\text{Rück}}$ ist mit Abstand die größte Kraft, die ausgeübt werden muss (Abbildung 6.1). Sie ist vom Arbeitsdruck der Pistole und vom Abstand zum Reinigenden Gegenstand abhängig.



Abb. 6.1 Rückstoßkraft $F_{\text{Rück}}$ beim Hochdruckreiniger

Die Gewichtskraft F_{Gewicht} entspricht der Gerätemasse der Pistole und einem Teil des Anschlussschlauchs (Abbildung 6.2).



Abb. 6.2 Gewichtskraft F_{Gewicht} beim Hochdruckreiniger

Als Betätigungskraft $F_{\text{Betätigung}}$ wird die Kraft bezeichnet, die aufgebracht werden muss, um die Pistole auszulösen (siehe auch Abbildung 5.7). Diese Kraft setzt sich aus der dynamischen Auslösekraft (Start der Betätigung) und der statischen Haltekraft (Spritzpistole ist in Aktion) zusammen.

Um die Arbeit mit dem Hochdruckreiniger zu erleichtern, ist eine Reduzierung dieser Kräfte sinnvoll:

6.1.1.1 Rückstoßkraft $F_{\text{Rück}}$

Die Belastung des Hand-Arm-Systems durch die Rückstoßkraft $F_{\text{Rück}}$ kann über ein Abstützsystem, welches die Pistole am Körper bzw. einem Tragegurt abstützt, deutlich reduziert werden. Folgende Aspekte sind zu berücksichtigen:

- Der Tragegurt sollte als Hosenträgergurt konzipiert sein, um ein Verrutschen zu verhindern. Das Aufnahmelager sollte seitlich in Hüfthöhe liegen. Die Abstützung sollte im Aufnahmelager beweglich sein.
- Die Abstützung sollte für die waagerechte Arbeitsrichtung als auch für die Richtung nach oben und alle Arbeitsrichtungen dazwischen konzipiert sein. Mit einem schwenkbaren Abstützbügel könnte dies erreicht werden.
- Beim Arbeiten sollten die Abstützung und die Schlauchführung den Bediener nicht behindern.

Als Beispiel soll die Hochdruckspritzpistole der Fa. Hammelmann (Oelde) angeführt werden.



Abb. 6.3 Hochdruckspritzpistole für Drücke bis 3.000 Bar (Quelle: Hammelmann Maschinenfabrik GmbH, Oelde)

Um einen plötzlichen Rückstoß beim Starten der Hochdruckspritzpistole zu verhindern, sollte die Pistole mit einem sich langsam öffnenden Ventil ausgestattet sein.

6.1.1.2 Gewichtskraft der Spritzpistole F_{Gewicht}

Die Gewichtskraft kann über eine Reduzierung der Gerätemasse vermindert werden.

6.1.1.3 Betätigungskraft $F_{\text{Betätigung}}$

Bei der Auslösekraft ist sowohl die Handgröße als auch die Öffnungsweite des Betätigungsschalters zu berücksichtigen. Mit den Daten aus Abbildung 6.4 kann die optimale Öffnungsweite ermittelt werden.

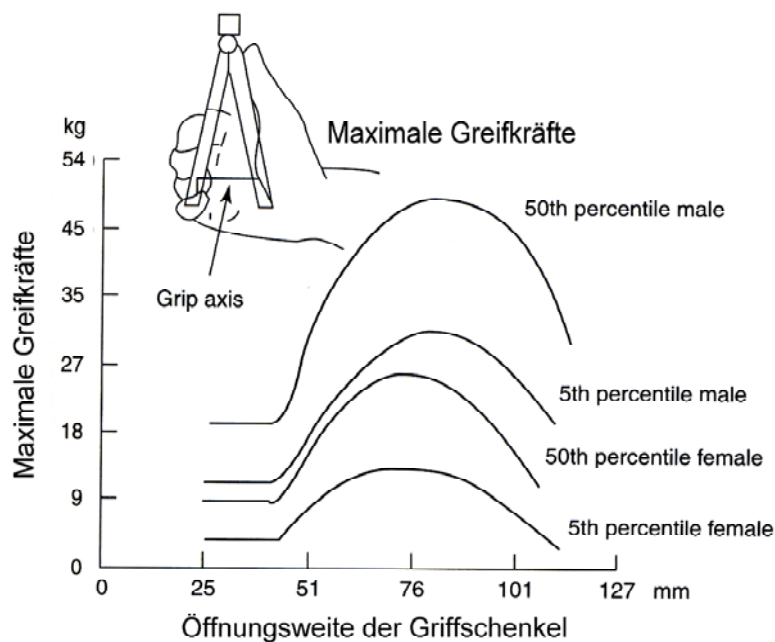
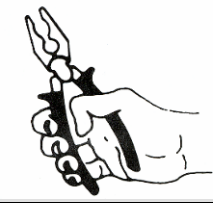


Abb. 6.4 Maximale Greifkräfte in Abhängigkeit der Griffschenkelweite (SALVENDY, 2006)

Optimale Handschließkräfte können der Veröffentlichung von RÜHMANN und SCHMIDTKE (1989) entnommen werden (Tabelle 6.1).

Die Kräfte sind von der Häufigkeit der Betätigung abhängig. Um eine Dauertätigkeit handelt es sich, wenn die Tätigkeit länger als eine Minute ununterbrochen ausgeführt wird.

Tab. 6.1 Maximal- und Dauer-Zangenkräfte bei Frauen und Männern
(Quelle: RÜHMANN und SCHMIDTKE, 1989)

	Handschließkräfte [N]			
	gelegentliche Betätigung		Dauerbetätigung	
	Frauen	Männer	Frauen	Männer
nicht sicherheitskritisch	< 180	< 360	< 33,5	< 68,0
sicherheitskritisch	< 100	< 190	< 25,0	< 47,5
Richtwerte	3,3 – 49,0	6,3 – 95,0	1,6 – 9,8	3,2 – 19,0

Als Konstruktionsziel können die Richtwerte hinzugezogen werden. Hierbei sollte wegen der propriozeptiven Rückmeldung der untere Bereichswert nicht unterschritten und zur Begrenzung der Beanspruchung der obere Wert nicht überschritten werden (RÜHMANN und SCHMIDTKE, 1989).

6.1.2 Schwingungsminderung

Abhängig von der Arbeitsaufgabe kann beim Verwenden von rotierenden Fräsdüsen die Schwingungsbelastung am Handgriff so hoch sein, dass eine Reduzierung notwendig ist. Zwei Ursachen sind hierbei zu berücksichtigen. Zum einen wirkt über die durch Wasser angetriebene rotierende Düse eine Unwucht auf das Griffgehäuse, zum anderen erzeugen die rotierend austretenden einzelnen Wasserstrahlen Reaktionskräfte, die in ihrer Richtung und Frequenz nicht aufgefangen werden können.

Somit bieten sich folgenden Lösungsmöglichkeiten an:

Auswuchten der Düse

Hierbei ist nicht nur das statische Wuchten zu berücksichtigen, sondern es sind auch die durch den Wasserstrahl eingebrachten Kräfte einzubeziehen.

Richtungsändernde Reaktionskräfte

Eine Reduzierung der Reaktionskräfte lässt sich durch eine Zwei- bzw. Dreilochdüse umsetzen. Hierdurch heben sich die Kräfte teilweise gegenseitig auf und werden nicht an das Gehäuse und an den Griff weitergeleitet.

Schwingungsmindernde Übertragungselemente

Sind keine primären Maßnahmen ausreichend oder technisch nicht umsetzbar, so können sekundäre, das heißt an der Schwingungsübertragung zur Hand wirkende

Maßnahmen ergriffen werden. Ziel ist hierbei, die Schwingungsquelle von der Ankopplung zum Menschen zu trennen. Dies kann durch schwingungsmindernde Griffe bzw. Hülsen erfolgen, die elastisch an den Grundkörper angekoppelt sind. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, dass durch die Konstruktion keine Behinderung und Beeinträchtigung bei der Bedienung erfolgt, z. B. durch zu hohe Griffdurchmesser oder unpräzise Handhabung.

6.2 Winkelschleifer

6.2.1 Griffgestaltung

Wie bereits im Kapitel 5.3.1 erwähnt, haben die Griffe der kleinen Winkelschleifer einen zu großen Umfang.

Aufgrund der hohen Reaktionskräfte, wie sie beim Arbeiten mit kleinen Winkelschleifern auftreten (Abb. 6.5), ist der *Umfassungsgriff* für den Hauptgriff des Schleifers am Besten geeignet.



Abb. 6.5 Arbeit mit dem kleinen Winkelschleifer

Beim Umfassungsgriff wird der Griff komplett umschlossen. Die Fingerglieder legen sich quer zur Achse des Griffes um seine Mantelfläche, so dass die Unterarmachse senkrecht zur Griff längsachse steht (Abbildung 6.6).

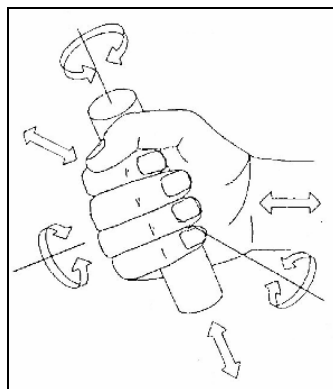


Abb. 6.6 Handstellung beim Umfassungsgriff (FEGGELER et al., 1992)

Die ideale Grundform für diese Griffart ist die Tonnenform. Sie verhindert das Abrutschen der Hand, ermöglicht eine große Kraftübertragung und erlaubt die Veränderbarkeit der Griffposition (MAUL und SOLF, 1969). Der Griffaußenradius beträgt für den Tonnengriff ca. 200 bis 360 mm (Abbildung 6.7).

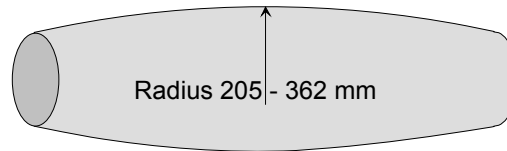


Abb. 6.7 Abmessungsmaße für Hand-Umfassungsgriffe (SCHMIDTKE, 1989)

In Abbildung 6.8 sind drei verschiedene Griffquerschnitte dargestellt.

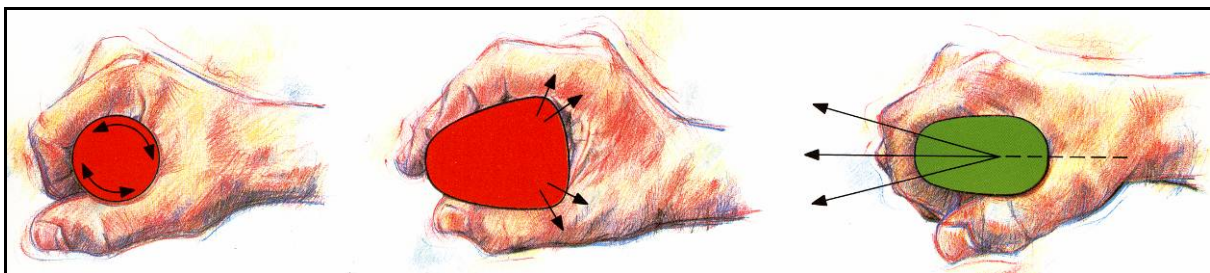


Abb. 6.8 Unterschiedliche Griffquerschnitte (BOSCH, 1987)

Der runde Griffquerschnitt entspricht nicht der natürlichen Formbildung der geschlossenen Hand. Da der Griff sich leicht in der Hand drehen kann, kann das Arbeitsmittel nicht sicher geführt werden. Der Dreieckgriff ist hinten zu breit. Er behindert das Umfassen und die Ecken des Griffs drücken auf die Hand. Die geschlossene Hand hat von oben betrachtet eine leicht ovale Form. Der ovale Griff erlaubt richtungsorientiertes Arbeiten bei idealem Form- und Reibschluss.

Der optimale Griffdurchmesser basiert auf den Maßangaben zum Greifumfang der Hand (Tabelle 6.2) bzw. den Greifdurchmesser (Tabelle 6.3).

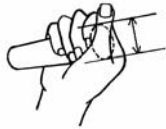
Durchmesser und Umfang können über folgende Formel umgerechnet werden.

$$\text{Formel: } \text{Umfang} = \text{Durchmesser} \cdot \pi \quad (\pi = 3,1416)$$

Tab. 6.2 Abmessungen für den Greifumfang der Hand

	Greifumfang der Hand [mm]						
	JÜRGENS (2004) 18 – 65 Jahre		SCHMIDTKE (1989) 18 – 40 Jahre (Werte aus drei Altersgruppen gemittelt)				
Bekleidung (Handschuhe)	ohne		schwer	leicht		ohne	
Geschlecht	m	w	m	m	w	m	w
Mindestmaß 5. Perzentil	120	110	114	114	106	123	110
Durchschnitt 50. Perzentil	135	130	129	132	128	138	132
Maximalmaß 95. Perzentil	155	155	147	150	150	156	154

Tab. 6.3 Abmessungen für den Greifdurchmesser der Hand

	Greifdurchmesser der Hand [mm]						
	GREIL (2000)		SCHMIDTKE (1989)				
Bekleidung (Handschuhe)	ohne		schwer	leicht		ohne	
18 – 40 Jahre	m	w	m	m	w	m	w
Mindestmaß 5. Perzentil	39	36	39	40	32	42	34
Durchschnitt 50. Perzentil	45	43	45	46	38	48	40
Maximalmaß 95. Perzentil	53	48	51	52	45	54	47

Werden beim Bedienen des Arbeitsmittels Handschuhe getragen, reduziert sich der Greifumfang, wie aus der Untersuchung von SCHMIDTKE (1989) ersichtlich, der Hand für Männer um ca. 9 mm, für Frauen um ca. 4 mm.

Um die Veränderung der Körpermaße der Menschen im Laufe der letzten 20 Jahren zu berücksichtigen (= Akzeleration), sind in Tabelle 6.2 und 6.3 die anthropometrischen Daten aus Untersuchungen der letzten Jahre aufgelistet (SCHMIDTKE, 1989; GREIL, 2000; JÜRGENS, 2004).

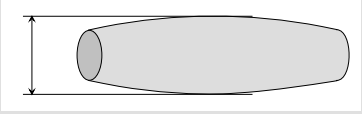
In der Tabelle 6.4 sind Griffdurchmesser aus verschiedenen Veröffentlichungen zusammengefasst.

Müssen Benutzer mit kleinen und großen Händen berücksichtigt werden, sollte der Griffdurchmesser 35 bis 41 mm betragen (LINDQVIST, 1997).

Der optimale Griffdurchmesser ist neben der Handgröße auch von der Richtung der aufzubringenden Kräfte und Momente abhängig.

Je nach Handgröße ohne Handschuhe liegt der optimale Griffdurchmesser bei einem Werkzeug, bei dem Druck- und Zugkräfte und/oder hohe Drehmomente aufgebracht werden müssen, bei 35 mm (5. Perzentil, weiblich) bis 49 mm (95. Perzentil, männlich) (siehe Tabelle 6.4). CACHA (1999) gibt für den Kraftgriff einen Griffdurchmesser von 32 bis 45 mm an, BULLINGER und SOLF (1976) empfehlen für Zug- und Druckkräfte einen Durchmesser von 30 bis 35 mm und für Drehmomente von 35 bis 40 mm.

Tab. 6.4 Maße für den optimalen Griffdurchmesser

	Optimaler Griffdurchmesser [mm]			
	LINDQVIST (1997)	BULLINGER und SOLF (1976)	SCHMIDTKE (1989)	CACHA (1999)
kleine und große Hände	35 – 41			
hohe Zug- und Druckkräfte		30 - 35	35 - 49	32 - 45
hohe Drehmomente		34 - 40		

6.2.2 Schalter

Die zweite Schwachstelle beim kleinen Winkelschleifer ist der Schiebeschalter zum Anschalten des Gerätes. Durch seine geometrische Ausführung, Position und der Rastfunktion kann es durch Probleme beim Abschalten zu Unfällen kommen.

Beim kleinen Winkelschleifer ist daher ein Kontaktaster zu empfehlen. Das heißt ein Schalter, der permanent gedrückt werden muss, damit er eingeschaltet ist. Außerdem ist es wichtig, dass der Schalter von den Langfingern betätigt wird und nicht vom Daumen.

Die Länge des Schalters sollte ca. $\frac{1}{2}$ Handbreite (Tabelle 6.5), d.h. ca. 40 bis 45 mm betragen.

Tab. 6.5 Maße für die Handbreite (SCHMIDTKE, 1989-1)

Männlich, Alter 26 - 40 Jahre Handschuhe	Handbreite	
	ohne	mit
Mindestmaß 5. Perzentil	80 mm	85 mm
Durchschnitt 50. Perzentil	86 mm	91 mm
Maximalmaß 95. Perzentil	93 mm	98 mm

Eine Schalterform an einem Pistolengriff, die sich an der optimalen Kraftausbringung orientiert, müsste, ergonomisch richtig, zu einer trapezförmigen Querschnittsform führen. Abbildung 6.9 zeigt eine solche ergonomisch günstige Form.

Die Maße a und b sind in Tabelle 6.6 aufgeführt.

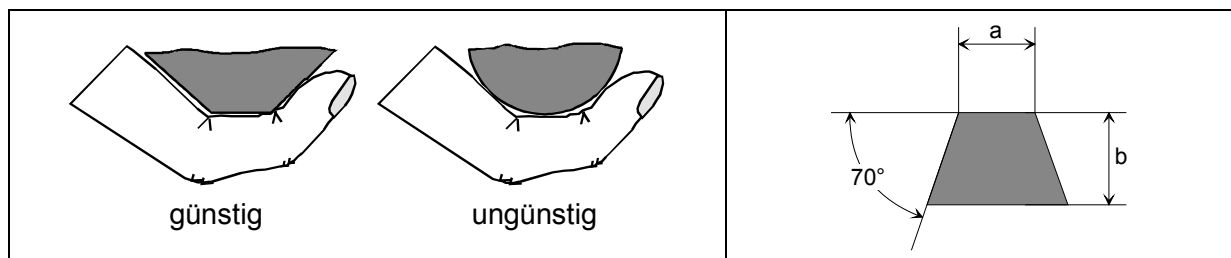


Abb. 6.9 Gestaltungsform für in der Hand-Zufassung betätigte Schalter (Zangengriff) (SCHMIDTKE, 1989-2)

Tab. 6.6 Maße für trapezförmigen Schalter an einem Pistolengriff

	a	b
minimal	10	> Stellweg
mittel	14	
maximal	18	

Der Stellweg des Schalters berechnet sich aus dem Griffdurchmesser bei nicht betätigtem Schalter und dem Griffdurchmesser bei betätigtem Schalter (Tabelle 6.7). Er liegt bei 6 bis 10 mm.

Tab. 6.7 Schalterweg (LINDQVIST, 1997)

Männlich, ohne Handschuhe	Griffumfang	Griffdurchmesser	Stellweg
Griff bei nicht betätigtem Schalter	< 170 mm	< 54 mm	6 mm - 10 mm
Griff bei betätigtem Schalter	110 - 130 mm	35 mm - 41,4 mm	
Berechnung des Schalterwegs: $\frac{\text{Griffdurchmesser (Griff bei nicht betätigtem Schalter)} - \text{Griffdurchmesser (Griff bei betätigtem Schalter)}}{2} = 6,3 \text{ mm bis } 9,5 \text{ mm}$			

6.2.3 Schwingungsminderung

Maßnahmen zur Minderung der Vibrationsbelastung sind wie folgt umsetzbar.

- Die Reduzierung der Unwucht von Schleifscheiben und das Verwenden hochwertiger Schleifscheiben mindern die Schwingungsentstehung primärseitig.
- Eine Entkopplung der Schleifscheibe von der Spindel kann zu einer Reduzierung der an das Schleifmaschinengehäuse übertragenen Schwingungen führen.
- Selbstjustierende Auswuchtelemente an der Spindel können die aus der Unwucht der Schleifscheibe resultierenden Rotationskräfte mindern.
- Eine schwingungsmindernde Trennung von Antrieb zum Gehäuse und weiter zu den Griffen reduziert die Weiterleitung der Schwingungen.
- Durch Berücksichtigung der statischen und dynamischen Schwerpunktsachsen lassen sich Griffanordnungen finden, welche durch ihre Lage in Schwingungsknoten (räumliche Orte, an denen sich Schwingungen durch Überlagerung verschiedener Schwingungen sehr stark reduzieren können) die in die Hände eingeleitete Vibrationsbelastung reduzieren.

6.2.4 Weitere Konstruktionsmerkmale

Die Sicherheit in der Handhabung der Maschine kann durch mehr Positionen für den Zusatzgriff erhöht werden, da für die jeweilige Arbeitsaufgabe eine bessere Kraftabstützung erfolgen kann. Der Schleifscheibenschutz ist veränderbar auszuführen. Der Wechsel der Schleifscheibe ist ohne Werkzeugeinsatz vorzusehen, z. B. durch Spindelarretierung oder Schnellverschlussmutter. Ein versehentliches Einschalten der Maschine beim Schleifscheibenwechsel ist konstruktiv unbedingt zu unterbinden.

Ein weiteres wichtiges Sicherheitselement bei der Handhabung des Winkelschleifers ist der Scheibenschnellstopp, der beim Ablegen der Maschine ein langes Weiterlaufen der Schleifscheibe unterbindet. Hierzu sollten, wie bei anderen handgehaltenen Werkzeugmaschinen teilweise üblich (z. B. Motorkettensägen, Handkreissägen) Vorgaben für ein sicheres Bedienen erlassen werden. Auch bei einem Verklemmen der Schleifscheibe beim Trennvorgang ist insbesondere für große, leistungsstarke Maschinen eine Drehmomentbegrenzung mit Schnellstopp zum Vermeiden von Unfällen ratsam.

Um die Reaktionskräfte beim Einschalten der Maschine zu reduzieren, bietet sich ein Sanftanlauf an. Hierdurch verringert sich die Gefahr des Losschlagens und eine sichere Positionierung der Werkzeugmaschine wird vereinfacht.

6.3 Akkuschauber

Mit den in Kapitel 5.3 durchgeführten Versuchen wurden Reaktionszeiten ermittelt, die zwischen 0,2 und 0,3 s liegen.

Eine, mit dem eingesetzten Akkuschauber mit einer Drehgeschwindigkeit von 400 Umdrehungen pro Minute (= 6,7 Umdrehungen/s) verwendete Nuss benötigt 0,149 s für eine Umdrehung. Nach 0,2 s wird der Griff durch Festfahren der Schraube um mehr als 360° ausgelenkt. Dass diese Drehwinkel im Versuch nicht eintreten, ist durch das Abbremsen der Spindel bedingt. Dennoch ist eine deutliche Verdrehung des Armes festzustellen.

Bei waagerechter Armhaltung kann der Mensch seine Hand um maximal 180° um die Längsachse drehen (Abbildung 6.10).

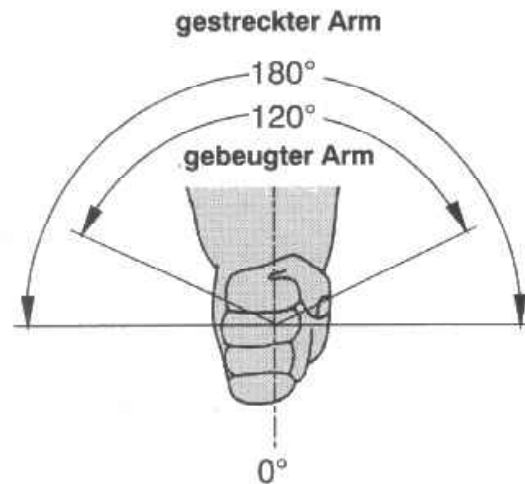


Abb. 6.10 Maximale möglicher Handgelenkwinkel (Quelle: STRASSER, 1996)

Das heißt, dass die Reaktionszeit auf jeden Fall zu lang ist, um den Schrauber rechtzeitig ausschalten zu können. Der Bediener ist gezwungen den Griff stärker festzuhalten.

Beim Blockieren der Schraube kann bei dem eingesetzten Akkuschauber ein maximales Drehmoment von 60 Nm auftreten. Das bedeutet bei zweihändiger Bedienung ein Drehmoment von 30 Nm pro Hand.

Wie in der Tabelle 6.8 zu erkennen ist, kann dieses hohe Drehmoment nur von sehr wenigen jungen Personen mit einer Hand aufgebracht werden.

Tab. 6.8 Maximales Drehmoment im Handgelenk (Versuchspersonen: Studenten) bei einem Hebel von 15 cm (Quelle: WOODSON, 1992)

Hand	Bewegung	5. Perzentil	50. Perzentil	95. Perzentil	s
rechts	nach außen	23,8	43,5	63,3	12,2
	nach innen	19,7	48,3	81,0	19,1
links	nach außen	20,4	42,2	59,9	10,9
	nach innen	21,1	48,3	89,8	21,1

Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit, nicht nur eine mechanische Drehmomentsicherung in den Akkuschauber einzubringen, sondern, wie schon beim Winkelschleifer beschrieben, einen Drehschnellstopp zum Vermeiden unbeabsichtigter Hand- und Armauslenkungen. Ein schneller Drehstopp unter Last, z. B. durch Erkennen einer

schnellen, unbeabsichtigten Auslenkung, vermeidet darüber hinaus unfallbedingte Verletzungen.

Insgesamt gesehen ist es für die verwendeten Handmaschinen auffällig, dass bereits seit geraumer Zeit bekannte ergonomische Gestaltungsgrundsätze, wie die verwendeten Literaturstellen belegen, von ihren Herstellern nicht konsequent angewendet wurden. Dies gilt ebenso für die prinzipiell bekannten Verfahren zur Schwingungsisolierung.

Zu vermuten ist aber, dass schon allein die konsequente Anwendung dieser Gestaltungsgrundsätze die Handhabungssicherheit solcher Maschinen verbessern würde und dabei helfen könnte, den Anteil „eingeschränkt leistungsfähiger“ Arbeitnehmer nach den Abschnitten 5.2, 5.3 und 5.5 zu verkleinern.

Es ist deshalb zu hoffen, dass die hier vorgestellten Ergebnisse bei Handmaschinenherstellern im Kontext mit der Entwicklung des deutschen Arbeitsmarktes diesbezüglich zu einem Innovationsschub führen. Auch stellt sich die Frage, ob handwerkliche Kleinbetriebe und KMU aufgrund der derzeitigen Wirtschaftslage und ihrer möglicherweise relativ dünnen Finanzdecke überhaupt in der Lage sind, Neuanschaffungen zu bewältigen (GEORG 2005). Für die Teilnahme von älteren Arbeitnehmern (über 55 Jahre) am Arbeitsmarkt, die im Sinne dieser Arbeit als „eingeschränkt leistungsfähig“ bezeichnet werden können, wäre es jedenfalls enorm wichtig.

7 Zusammenfassung

Der demografische Wandel in Deutschland wird sich auf die Entwicklung des Arbeitsmarktes auswirken. Gegenwärtig ist die Hälfte der Bevölkerung über 40 Jahre alt, 2040 wird der Scheitelpunkt bei 50 Jahren liegen. In den Betrieben steigt das durchschnittliche Alter der Belegschaft an. Erstmals gibt es 2005 unter den Erwerbspersonen mehr über 50-Jährige als unter 30-Jährige. In 15 Jahren wird mehr als jeder dritte Erwerbstätige älter als 50 Jahre sein.

Damit die derzeitigen sozialen Sicherungssysteme auch in Zukunft funktionieren können, muss die Lebensarbeitszeit der Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer ansteigen. Jedoch muss dafür die Voraussetzung erfüllt sein, dass genügend Arbeitsplätze zur Verfügung stehen und dass die Bereitschaft auf Seiten der Unternehmen besteht (oder geweckt wird), offene Stellen auch mit älteren Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmern zu besetzen, bzw. besetzen zu können.

7.1 Wissensstand

Es liegen bereits viele Studien vor, die sich aus arbeitsorganisatorischer, arbeitsmedizinischer und psychologischer Sicht mit den Fähigkeiten älterer Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer beschäftigen. Aus ihnen kann gefolgert werden, dass das Älterwerden des Menschen als ein dynamisch und differenziert verlaufender Wandlungsprozess zu sehen ist, in welchem im Laufe des Lebens Funktionen abnehmen, während sich andere Fähigkeiten erst entwickeln. Dieser Wandlungsprozess ist bei den Menschen unterschiedlich ausgeprägt. Wie stark der Prozess bei einer Person ausgeprägt ist wird durch das *biologische* Alter definiert.

Im Gegensatz zum *biographischen* Alter, das nach dem Geburtsdatum errechnet wird, beschreibt das biologische Alter den Zustand des Körpers, der einem bestimmten Alter ungefähr entspricht (SEIBT et al., 2004).

Es gibt jedoch ein Muster von Eigenschaften und Fähigkeiten, die sich im Laufe eines (Arbeits-)Lebens verändern. Es wird hier vom *natürlichen Altersgang* gesprochen. Eine Reihe von – vor allem körperlichen und sinnlichen – Fähigkeiten nehmen im Alter ab:

- Da sowohl körperliche als auch geistige Prozesse nachlassen, reduziert sich die Geschwindigkeit von körperlichen und geistigen Prozessen mit dem Alter.
- Im Bereich der Psychomotorik, was die sensorische (Signale erkennen), die kognitive (Entscheidungen treffen) und motorische Leistung (Reaktion zeigen) betrifft, zeigt sich das Nachlassen mit der Verschlechterung der Reaktionszeit.
- Von einem Abbau betroffen sind die geschwindigkeitsabhängigen Intelligenzbereiche, wie beispielsweise Auffassungsgeschwindigkeit oder Kombinationsfähigkeit (flüssige Intelligenz).
- Zu beobachten ist das Nachlassen der Sinnesfunktionen wie die Hör- und die Sehfähigkeit, sowie die Taktilität bzw. die Vibrationssensibilität.
- Hierzu gehört auch die Feinmotorik, die im Alter abnimmt.

- Bei körperlichen Prozessen ist eine Abnahme der körperlichen Kräfte und damit bis zu einem gewissen Grad die körperliche Ausdauer und Belastbarkeit zu beobachten.

Obwohl die meisten der bisher beschriebenen Leistungsfaktoren eine deutliche Verminderung mit der Zunahme des Lebensalters des Arbeitnehmers erkennen lassen, kann sich aus LEHR (1991) unter Zuhilfenahme von SEIBT et al. (2004) und WOODS (1981) ergeben, dass nicht generell von einem Leistungsabfall im Laufe des späteren Berufslebens ausgegangen werden muss. Es können vielmehr bis an die Ruhestandsgrenze hohe Leistungen erbracht werden. Die jeweils erbrachten Leistungen hängen offenbar weniger vom Alter ab als vielmehr von der Aus- und Weiterbildung, einem lebenslangen Training, den optimal angepassten beruflichen Anforderungen (weder Über- noch Unterforderung), dem betrieblichen und sozialen Umfeld, den spezifischen Arbeitsbedingungen sowie dem Gesundheitszustand (JORDAN, 1995).

Die bisher dargestellten Erkenntnisse wurden entweder monofaktoriell ermittelt oder es wurde, wie zuletzt dargestellt, offensichtlich aus Einzelergebnissen auf ein multifaktorielles Ergebnis extrapoliert. Gering ist der Wissensstand über kombinierte Belastungen, wie sie an Arbeitsplätzen mit Handmaschinen vorherrschen. Daraus könnte der Schluss gezogen werden, dass Laborversuche mit Einzelbelastungen nicht geeignet sind, z. B. die Leistungsfähigkeit des Bedieners von Handmaschinen zu ermitteln.

Daraus ergibt sich die Aufgabe, mittels multifaktorieller Belastungs- und Beanspruchungsuntersuchungen an realen Arbeitsplätzen oder in der Realität nahe kommenden Laborversuchen zu ermitteln, welche Ergebnisse sich aus gleichzeitig wirkenden und untersuchten Faktoren ergeben und ob diese Ergebnisse die dargestellten Annahmen bestätigen.

7.2 Befragung

Die Befragung von 81 jungen und älteren Bedienern von Handgeräten zu ihrer subjektiven Einschätzung der Belastung bezogen auf die Umwelt, die Maschine und den Bediener ergab, dass von den Befragten sich die jüngsten Befragten (bis einschließlich 35 Jahre) bei fast allen Belastungen am stärksten belastet fühlen. Dies spiegelt sich auch in der durchschnittlichen subjektiven Bewertung aller Belastungen nieder. Hier bewerten die jungen Bediener die Belastung mit neutral bis hoch, während die AG 3 die Belastungen als gering bis neutral empfinden.

Nur die bedienerabhängigen Belastungen „Sehfähigkeit“, „Kraftanstrengung“, „Feinmotorik/Tastsinn“ und „Bewegungsfähigkeit“ werden von den über 36-Jährigen stärker bzw. gleich beurteilt.

7.3 Experimentelle Untersuchungen

Mit einer multifaktoriellen Belastungsuntersuchung, d. h. einem im Labor nachgestelltem Feldversuch mit tatsächlichen Belastungen, wie sie am Arbeitsplatz vorkommen, sollen die altersabhängigen Veränderungen der Bedienperson aufgezeigt werden.

Zu diesem Zweck wurden drei experimentelle Untersuchungen mit verschiedenen Handmaschinen durchgeführt:

1. Die Arbeit mit Hochdruckreinigern
2. Die Bedienung von kleinen Winkelschleifern
3. Die Tätigkeit mit dem Akkuschauber

Die drei Handwerkzeuge unterscheiden sich in ihrer Belastungsart deutlich:

Während beim Hochdruckreiniger und beim Winkelschleifer neben hohen Vibrationen auch hohe Ankopplungskräfte notwendig sind, ist beim Akkuschauber bei plötzlichem Festsetzen einer Schraube eine schnelle Reaktionszeit gefragt. Eine zusätzliche Belastung erfährt der Bediener des Winkelschleifers durch den zu großen, unergonomischen Griff.

An den drei Versuchen nahmen zwischen 38 und 52 Versuchspersonen im Alter von 18 bis 71 Jahren teil ($\bar{\Delta}$ 42,4 Jahre). Der größte Teil der Teilnehmer (fast 70 %) hatte wenig Erfahrung in der Bedienung mit Handgeräten (Übung: keine bis wenig, Häufigkeit des Einsatzes: weniger als einmal im Monat).

Sowohl beim Hochdruckreiniger- als auch beim Winkelschleifer-Versuch kam ein Hand-Arm-Simulator zum Einsatz. Die Versuche mit dem Akkuschauber wurden mit richtigem Werkzeug (Akkuschauber) an einem speziell entwickelten Versuchsstand durchgeführt.

Die Versuchspersonen waren im Rahmen der Versuche folgenden Belastungen ausgesetzt:

Tab. 7.1 Belastungen der Versuchspersonen

Versuch	Vibration a_{hwz}	Dauer	Greifkraft rechts $F_{gr,rechts}$	Greifkraft links $F_{gr,links}$	sonstige Belastung
A: Hochdruckreiniger	4 m/s ²	2 x 90 s	120 N	60 N	-
B: kleiner Winkelschleifer	6 m/s ²	2 x 120 s	60 N	-	großer Griffdurchmesser
C: Akkuschauber	< 2,5 m/s ²	ca. 18 x 5 s	< 25 N	-	plötzliches Blockieren der Schraube

Die ermittelten Beanspruchungsindikatoren sind in den Tabellen 7.2a und 7.2b aufgelistet.

Tab. 7.2a Ermittelte Beanspruchungsindikatoren

Versuch	Blutdruck	Pulsfrequenz	maximale Greifkraft F_{gr}
A: Hochdruckreiniger	vor und nach Exposition	vor und nach Exposition	vor und nach Exposition
B: kleiner Winkelschleifer	vor Exposition	vor Exposition	
C: Akkuschauber	vor und nach Exposition	vor und nach Exposition	nach Exposition

Tab. 7.2b Ermittelte Beanspruchungsindikatoren

Versuch	d2-Test	Purdue-Steckbrett	Vibrations-sensibilität	EMG	Reaktionszeit	subjektive Einschätzung
A: Hochdruckreiniger	vor und nach Exposition					nach Exposition
B: kleiner Winkelschleifer		vor und nach Exposition	vor und nach Exposition			
C: Akkuschauber				während Exposition	während Exposition	nach Exposition

Für die untersuchten Parameter maximale Greifkraft, Vibrationssensibilität und Feinmotorik sowie Aufmerksamkeit zeigt sich der bereits in der Literaturrecherche nachgewiesene altersabhängige Leistungsabbau.

7.3.1 Beanspruchungsindikatoren vor der Exposition

7.3.1.1 Maximale Greifkraft F_{gr}

Zwischen der maximalen Greifkraft F_{gr} der jüngsten Altersgruppe und der ältesten Altersgruppe besteht ein signifikanter Unterschied. Im Versuch A (Hochdruckreiniger) wie auch im Versuch C (Akkuschauber) weisen die jungen Versuchspersonen die höchsten Greifkräfte auf. Mit Zunahme des Alters nimmt die maximale Greifkraft ab.

7.3.1.2 Vibrationssensibilität und Feinmotorik

Die niedrigste Vibrations-Wahrnehmungsschwelle wurde in der Altersgruppe bis einschließlich 35 Jahren gemessen. Sie beträgt im Durchschnitt $0,077 \text{ m/s}^2$. Die über 55-Jährigen haben mit $0,135 \text{ m/s}^2$ eine signifikant geringere Vibrationssensibilität.

Die Feinmotorik wurde mit dem Purdue-Steckbrett untersucht. Auch hier zeigt sich, dass die Älteren eine signifikant geringere Feinmotorik besitzen als die Jungen. Am Deutlichsten ist dies beim zusammenstecken einer Baugruppe (Stift – Scheibe – Hülse – Scheibe) zu sehen.

7.3.1.3 d2-Test

Die mit dem d2-Test durchgeführten Versuche zur Erfassung der Aufmerksamkeit liefern folgende Ergebnisse:

- Das beste Ergebnis im d2-Test liefern die Altersgruppen 1 und 2 mit 362 bzw. 355 Punkten.
- Die Altersgruppe 3 liegt mit 280 Punkten signifikant darunter.

7.3.1.4 Pulsfrequenz und Blutdruck

In allen drei experimentellen Versuchen wurden zu Beginn die Pulsfrequenz und der Blutdruck der Versuchspersonen ermittelt.

Die Messergebnisse zeigen keinen altersabhängigen Einfluss. Die jüngsten Teilnehmer haben oft die höchste Pulsfrequenz, die wahrscheinlich auf eine gesteigerte Nervosität durch die Versuchssituation zurückzuführen ist.

Beim Blutdruck haben die über 35-Jährigen tendenziell den höchsten diastolischen Blutdruck. Der systolische Blutdruck zeigt beim Winkelschleifer- und beim Akkuschauber-Versuch eine eindeutige Altersabhängigkeit, beim Hochdruckreiniger-Versuch haben die drei Altersgruppen im Mittel gleiche Messwerte.

7.3.2 Beanspruchungsindikatoren nach der Exposition

7.3.2.1 Maximale Greifkraft F_{gr}

Die Belastung durch hohe Ankopplungskräfte und gleichzeitiger zusätzlicher Vibration bewirkt bei den Probanden keine Veränderung in der maximalen Greifkraft F_{gr} .

7.3.2.2 Pulsfrequenz und Blutdruck

Dagegen ist bei allen Versuchspersonen im Durchschnitt eine Zunahme des diastolischen Blutdrucks zu beobachten (Versuch A: Hochdruckreiniger). Bei den ältesten Versuchspersonen nimmt der Blutdruck am stärksten, bei der Altersgruppe 1 am wenigsten zu.

Im Versuch A führt die Belastung bei allen Versuchsteilnehmern zu einer Zunahme der Pulsfrequenz. Am Ende des Versuchs haben die Altersgruppen 1 und 2 eine geringere Pulsfrequenz als zu Beginn (95 % und 93 %). Dagegen hat die Pulsfrequenz der Altersgruppe 3 leicht zugenommen (102 %).

7.3.2.3 Feinmotorik, Vibrationssensibilität und Aufmerksamkeit

Direkt nach der Belastung ist bei allen Versuchspersonen eine signifikante Abnahme der Feinmotorik und der Vibrationssensibilität zu beobachten (Versuch B: Winkelschleifer).

5 bis 10 Minuten nach Ende der Belastung erreichen die Versuchspersonen sowohl im Aufmerksamkeits-Test als auch im Feinmotorik-Test bessere Ergebnisse.

Während beim d2-Test die Zunahme der Aufmerksamkeit in der AG 3 am höchsten ist, ist der Leistungszuwachs bei den Älteren im Feinmotoriktest nicht so groß wie bei den Teilnehmern bis 55 Jahren.

Die Vibrationssensibilität erreicht jedoch nicht den Zustand wie vor der Belastung. In der Altersgruppen 3 ist die schlechtere Erholungswirkung der Pause deutlich größer als in der AG 1 oder AG 2.

Auch beim Feinmotoriktest zeigt sich für die über 55-Jährigen eine Verschlechterung in der Erholungswirkung nach der Pause von Exposition 1 zu Exposition 2.

7.3.2.4 Reaktionszeit

Nach dem Blockieren der Schraube im Versuch C (Akkuschauber) benötigt die Altersgruppe 3 die längste Zeit (0,269 s), um den Schalter loszulassen. Die Reaktionszeiten der Altersgruppe 2 liegt mit 0,240 s und die der AG 1 mit 0,248 s darunter.

Versuchspersonen mit Erfahrung weisen eine längere Reaktionszeit auf als Personen mit wenig Erfahrung.

Mit dem Belastungsindikator elektrische Muskelaktivität konnten beim Versuch C keine altersabhängigen Einflüsse ermittelt werden.

7.3.2.5 Subjektive Einschätzung der Belastung

Am Ende der Versuche A und C wurden die Versuchspersonen nach ihrer subjektiven Einschätzung bezüglich der einwirkenden Belastung befragt.

Im Versuch A haben sechs Teilnehmer aus der Altersgruppe 3 die Belastung als „normal anstrengend“, fünf als „schwer“ und „drei“ als „außergewöhnlich hoch“ eingeschätzt. Die jungen Versuchspersonen bewerten die Versuche überwiegend als „schwer“.

Im Versuch C gaben die Teilnehmer ihre Bewertung anhand einer visuellen Analogskala ab. Hier empfinden die unter 36-Jährigen eine stärkere Belastung (VAS = 3,2 cm) als die anderen Versuchspersonen (AG 2 = 1,5 cm, AG 3 = 2,3 cm).

7.4 Leistungsfähigkeit der Älteren

In den nachfolgenden Abbildungen 7.1 und 7.2 ist die sich aus den drei experimentellen Versuchen ergebende relative Leistungsstärke (resp. Leistungsfähigkeit) der drei Altersgruppen der Versuchspersonen abgebildet.

Mit Ausnahme der Pulsfrequenz (deswegen nicht dargestellt) zeigen alle untersuchten Indikatoren eine Altersabhängigkeit. Mit Zunahme des Alters sinkt die maximale Greifkraft, die Feinmotorik nimmt ab (Purdue-Steckbrett-Test) und die psychologische Aufmerksamkeit ist geringer (d2-Test). Weiterhin sind eine Zunahme der Vibrations-Wahrnehmungsschwelle, ein erhöhter Blutdruck und eine langsamere Reaktionszeit bei den älteren Versuchspersonen zu beobachten

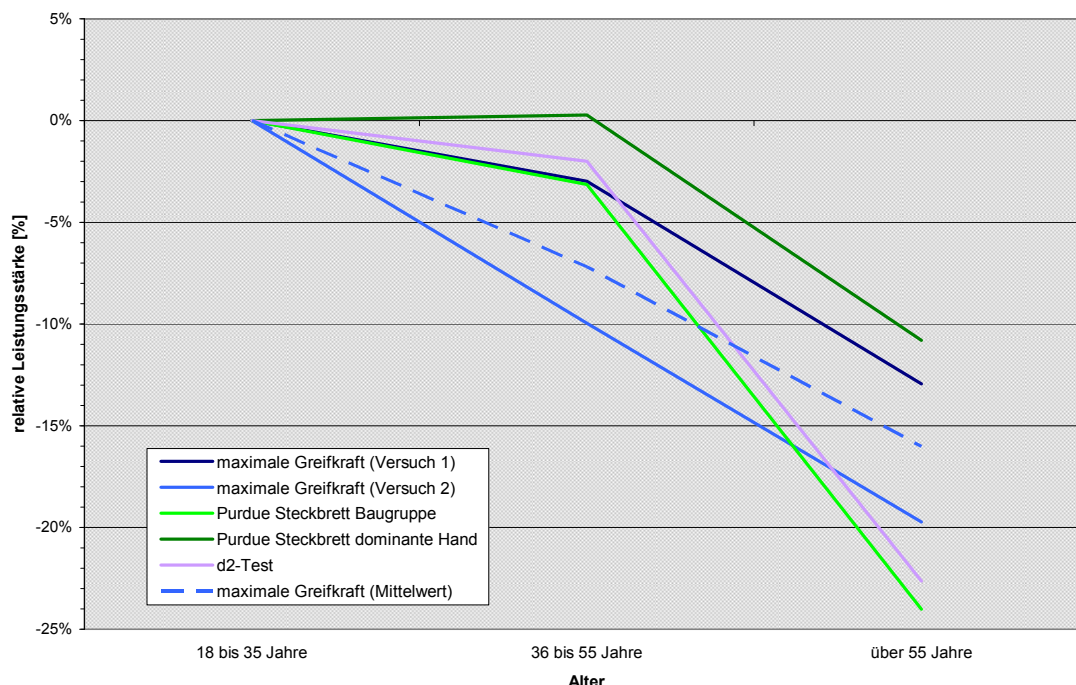


Abb. 7.1 Relative altersabhängige Leistungsfähigkeit

Natürlich können die in den Versuchen gewonnenen Daten nicht direkt auf die Allgemeinbevölkerung transferiert werden, da durch die Auswahl der Probanden eine Selektion erfolgt ist (Teilnahme nur von gesunden Personen, bzw. „Welche ältere Person hat den Mut, an experimentellen Versuchen teilzunehmen?“).

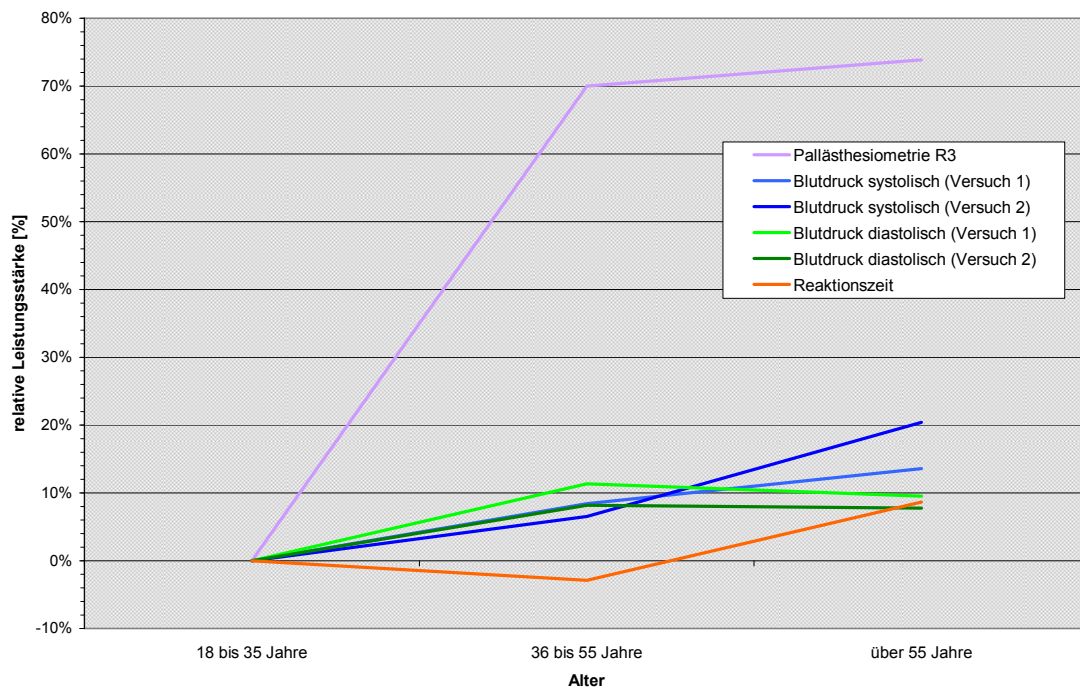


Abb. 7.2 Relative altersabhängige Leistungsfähigkeit

Auch nach einer Belastung schneiden die Älteren (Altersgruppe 3) schlechter ab als die Jungen. Die Vibrationswahrnehmungsschwelle erhöht sich stärker, der Puls braucht länger, um auf den Ausgangswert zurückzukehren und der Blutdruck liegt am Ende der Exposition über dem Ausgangswert. Zusätzlich ist der Lerneffekt beim Feinmotoriktest in der AG 3 geringer als in der AG 1 oder 2 (Abbildung 7.3).

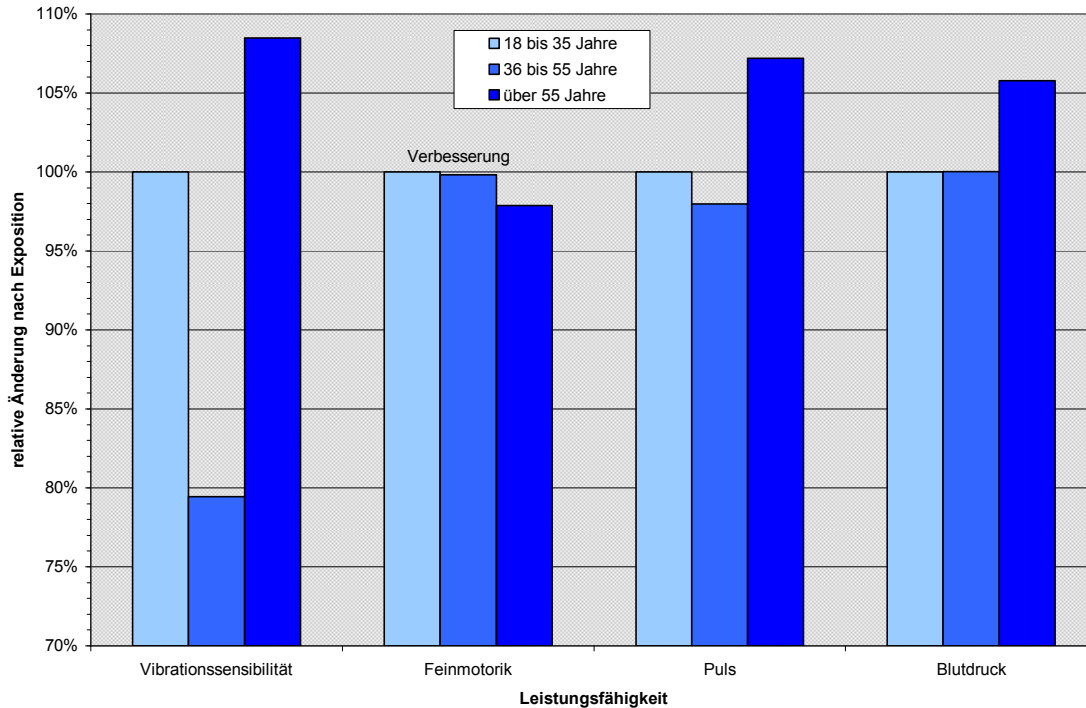


Abb. 7.3 Relative Änderung der Leistungsfähigkeit nach einer Exposition

Auf der anderen Seite gibt es aber auch eine große Anzahl Älterer, die mit den Jungen mithalten kann. Die Verteilung der relativen Häufigkeit ist von der Art des Leistungsmerkmals abhängig und liegt bei 20 % im Leistungsmerkmal Blutdruck, bei 37 % im Leistungsmerkmal Pulsfrequenz und bis zu 50 % in den Leistungsmerkmalen Reaktionszeit, Feinmotorik und Vibrationssensibilität (Abbildung 7.4).

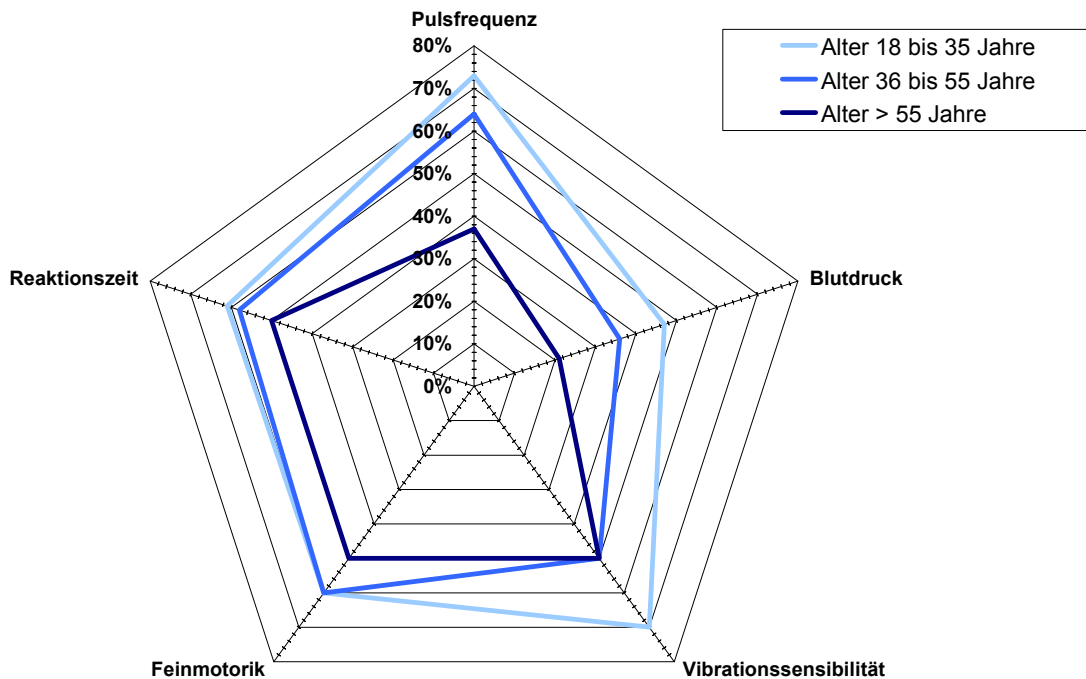


Abb. 7.4 Relative Häufigkeitsverteilung der leistungsfähigen Personen für bestimmte Beanspruchungsindikatoren

7.5 Ergebnisüberblick

Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten multifaktoriellen experimentellen Versuche zeigen, dass nach einer Belastungseinwirkung die über 55-Jährigen im Durchschnitt eine geringere Leistungsfähigkeit aufweisen als die Jungen. Ein Ergebnis also, dass der Betrachter als normal empfunden wird. Dem ist aber nicht so, wie eine tiefer gehende Betrachtung zeigt:

Bei einer Betrachtung der Versuchsergebnisse ohne die im Prinzip übliche Bildung eines Mittelwertes erweist es sich, dass an den Versuchen eine große Anzahl älterer Versuchspersonen teilgenommen haben (> 55 Jahre), die eine ähnlich hohe Leistungsfähigkeit aufweisen, wie die Jüngeren (bis 55 Jahre). Im Maximum liegt diese Anzahl bei 50 %.

Auf der anderen Seite könnte bei 50 % der Versuchspersonen über 55 Jahren durch ihre geriatrisch bedingte geänderte Leistungsfähigkeit (eingeschränkt leistungsfähig) durchaus eintreten, dass für sie ein anerkannt sicheres Arbeitsmittel, wie eine der hier betrachteten Handmaschinen in der Handhabung plötzlich unsicher wird.

Zu einem altersgerecht gestalteten Arbeitsplatz gehören selbstverständlich auch die entsprechend konstruierten und gestalteten Arbeitsmittel und Arbeitsmaschinen, die an die Arbeitsaufgabe und die Leistungsvoraussetzung des Menschen unter Berücksichtigung seiner Arbeitsbiologie (psychische, medizinische und physiologische Leistungsfähigkeit) und der Arbeitstechnik (technologische Arbeitsgestaltung) angepasst sind.

Insgesamt gesehen ist es für die im Rahmen dieser Arbeit verwendeten Handmaschinen auffällig, dass bereits seit geraumer Zeit bekannte ergonomische Gestaltungsgrundsätze, wie aufgezeigt wurde, nicht konsequent angewendet werden. Dies gilt ebenso für die prinzipiell bekannten Verfahren zur Schwingungsisolierung.

Es ist zu vermuten, dass schon allein die konsequente Anwendung dieser Gestaltungsgrundsätze im Zusammenhang mit den hier aufgezeigten Lösungen die Handhabungssicherheit solcher Maschinen verbessern würde und dabei helfen könnte, den biologisch bedingten nachweisbaren Anteil „eingeschränkt leistungsfähiger“ Arbeitnehmer zu verkleinern. Dies erscheint unabdingbar im Hinblick auf die dargestellte Entwicklung des deutschen Arbeitsmarktes.

8 Diskussion und Ausblick

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde untersucht, ob sich in der Literatur vielfach zu findende und zumeist monofaktoriell ermittelte altersbedingte Absenkungen bzw. Veränderungen menschlicher Fähigkeiten und Fertigkeiten auch bei multifaktoriellen Belastungen und Beanspruchungen des Menschen finden lassen.

Multifaktoriell bedeutet in diesem Zusammenhang, dass versucht wird, im Labor Bedingungen zu schaffen, die letztendlich auf die Vorgänge an einem realen Arbeitsplatz schließen lassen und den tatsächlichen Zustand der Leistungsbereitschaft des Menschen wiedergeben. Hierbei wurde auf extreme Belastungen des Hand-Arm-Systems orientiert.

Zudem war auch danach zu suchen, ob sich durch Überlagerung monofaktoriell gewonnener Erkenntnisse auch realitätsnahe Prognosen über die Entwicklung der Fähigkeiten und Fertigkeiten insbesondere älterer Arbeitnehmer finden lassen können.

Da die Wahrscheinlichkeit hoch ist, dass männliche Arbeitnehmer an Handmaschinen-Arbeitsplätzen dominieren wurde die vorgelegte Untersuchung geschlechtsspezifisch für männliche Arbeitnehmer durchgeführt.

Insgesamt wurden in drei experimentellen Anordnungen jeweils drei Belastungsparameter verwendet, siehe auch Tabelle 7.1, und als Beanspruchungsindikatoren wurden zwei in allen drei Versuchen verwendet und dazu zusätzlich noch jeweils zwei in zwei Versuchen und dazu noch fünf verschiedene, in summa also neun unterschiedliche Beanspruchungsindikatoren (siehe Tabellen 7.2a und b).

Aus den vorgestellten, dreifach verifizierten Ergebnissen, folgt im Hinblick auf die verwendeten Belastungsparameter und Beanspruchungsindikatoren:

- Die miteinander kombinierten Belastungsparameter sind geeignet, Arbeitsplätze mit Handmaschinen und also multifaktorieller Belastung des Menschen im Labor realitätsnah nachzustellen.
- Der Beanspruchungsindikator *Blutdruck* ist als Leistungsfähigkeitsmerkmal nicht geeignet, jedoch als Gesundheitsmerkmal unentbehrlich, um vor und während der Versuchsdurchführung das Wohlbefinden der Versuchspersonen zu kontrollieren, da ja weder hyper- noch hypotonische Blutdruckzustände eintreten dürfen.
- Am aussagefähigsten sind die Leistungsfähigkeitsmerkmale *Pulsfrequenz*, *Reaktionszeit*, *Feinmotorik* und *Vibrationssensibilität*. Hierbei ist anzumerken, dass man offensichtlich auch mit geeignet gewählten einfachen *subjektiven Befragungsrastern* überraschend deutliche und stützende Ergebnisse erzielen kann.

Weitere Versuchsanordnungen und -konditionierungen mit einem auch ähnlichen Untersuchungsziel sind mit Hilfe dieser Aussagen einfacher zu generieren.

Zusammenfassend kann festgestellt werden:

- Eine Altersabhängigkeit der Leistungsfähigkeit des Menschen ist evident.
- Diese Altersabhängigkeit zeigt sich ab einem Lebensalter von ca. 55 Jahren.

- Die aus Einzelergebnissen gewonnene Prognose, dass nicht generell von einem Leistungsabfall des Menschen im Laufe des späteren Berufslebens ausgegangen werden muss, ist zutreffend.
- Erfahrung kann offensichtlich die altersabhängige Leistungseinschränkung teilweise kompensieren. Der Grad dieser Kompensation durch möglicherweise auch andere Faktoren ist derzeit nicht verifizierbar.
- Ein linearer Zusammenhang zwischen der Betrachtung von Einzelbelastungen und Mehrfachbelastungen ist mit der angewendeten Untersuchungsmethode nicht erkennbar.
- Im Alter gibt es offenbar größere Leistungsunterschiede zwischen leistungsfähigen und eingeschränkt leistungsfähigen Personen: Alt sein heißt prinzipiell nicht, leistungsschwach zu sein!
- Der Anteil leistungsfähiger und eingeschränkt leistungsfähiger Arbeitnehmer ist in der Altersgruppe ab einem Lebensalter von 55 Jahren in der vorliegenden Untersuchung gleich verteilt.
- Eingeschränkt leistungsfähige Personen sind in allen untersuchten Altersgruppen in unterschiedlicher Häufigkeit vorhanden.

In Bezug auf die mit dieser Arbeit zu beantwortende Fragestellung scheint es demnach so zu sein, dass aufgrund geriatrischer Veränderungen bei der Bedienpersonen über 55 Jahren, also durch eine veränderte individuelle Disposition für 50 % der Versuchspersonen ein anerkannt sicheres Arbeitsmittel wie die betrachteten Handmaschinen plötzlich unsicher werden kann. Dies ist ein in seiner Deutlichkeit überraschendes Ergebnis mit zwei Seiten:

- Einerseits sind offensichtlich 50 % der Versuchspersonen ohne Probleme in der Lage, eine deutlich längere Lebensarbeitszeit zu leisten.
- Andererseits gibt es aber 50 % Versuchspersonen, die dies aus biologischen Gründen und damit möglicherweise ohne eigenes Verschulden sie nicht leisten können.

Immerhin erscheint als Ergebnis, dass sich aus längeren Lebensarbeitszeiten ergebende und vielerorts beschriebene Probleme nicht so groß sind, wie prognostiziert.

Folgende Empfehlungen können daraus abgeleitet werden:

- Eine gleiche geschlechtsspezifische Untersuchung für Frauen sollte der vorgelegten Untersuchung notwendigerweise folgen.
- Weitere, auch ähnlich gelagerte Untersuchungen sollten das vorgelegte Ergebnis zusätzlich verifizieren.
- Mit geeigneten Verfahren sollten diejenigen Personen erkannt werden können, die aufgrund ihrer individuellen Disposition an dem zu betrachtenden (Handmaschinen-)Arbeitsplatz nicht einsetzbar sind. An einem solchen Arbeitsplatz eingeschränkt leistungsfähigen Arbeitnehmern sollten konstruktiv angepasste oder veränderte Arbeitsmittel bereitgestellt werden. Kann dadurch die für diesen Arbeitsplatz notwendige Leistungsfähigkeit nicht wieder hergestellt werden, sollte diesen Personen ein ihrer Disposition entsprechender Arbeitsplatz vermittelt werden.

- Es sollten multifaktorielle Untersuchungen zum Einfluss von Belastungspausen während einer Schwingungsexposition auf die Beanspruchungsreaktionen des Menschen durchgeführt werden, um
 - einerseits fundierte Aussagen zur Wirkung derzeitiger organisatorischer Schwingungsschutzmaßnahmen zu erhalten und um
 - andererseits organisatorischen Schwingungsschutz nachhaltig verbessern zu können. (hier bisher erkennbar: für die Feinmotorik reichen offenbar fünf Minuten Pause aus, für die Vibrations sensibilität ist diese Pausendauer zu gering). Dabei ist
 - erstens zu bedenken, dass Expositionspausen nicht nur zu einer Erholung von einer Belastung führen dürfen, sondern so lang andauern sollten, dass der Körper möglicherweise beginnende Schädigungen regenerativ rückbilden kann und
 - zweitens zu bedenken, dass die Pausendauerfestlegung sich an mindestens drei Leistungsfähigkeitsmerkmalen orientieren sollte.
- Eingeschränkt leistungsfähigen Arbeitnehmern sollten, s. o., konstruktiv veränderte Arbeitsmittel bereitgestellt werden. Insgesamt gesehen ist es nämlich für die im Rahmen dieser Arbeit verwendeten Handmaschinen auffällig, dass bereits seit geraumer Zeit bekannte ergonomische Gestaltungsgrundsätze, wie aufgezeigt wurde, nicht konsequent angewendet werden. Dies gilt ebenso für die prinzipiell bekannten Verfahren zur Schwingungsisolierung. Es ist zu vermuten, dass schon allein die konsequente Anwendung dieser Gestaltungsgrundsätze im Zusammenhang mit den hier aufgezeigten Lösungen die Handhabungssicherheit solcher Maschinen verbessern würde und dabei helfen könnte, den biologisch bedingten nachweisbaren Anteil „eingeschränkt leistungsfähiger“ Arbeitnehmer zu verkleinern. Dies erscheint unabdingbar im Hinblick auf die absehbare Entwicklung des deutschen Arbeitsmarktes.

Literaturverzeichnis

Ahrend, K.D.: Validierung der Pallästhesiometrie als Screening-Methode zur Diagnostik der beruflichen Schwingungsbeanspruchung - Teilprojekt: Ermittlung von Normalwerten. Verbundprojekt Pallästhesiometrie, Abschlußbericht Dez. 94

Ahrend, K.D.; Konietzko, J.: Der ältere Mensch am Arbeitsplatz In: Handbuch der Arbeitsmedizin - Arbeitsphysiologie, Arbeitspathologie, Prävention, Band 1, Ecomed-Verlag, 1995

Biener, K.: Präventive Gerontologie - Gesund älter werden. Verlag Hans Huber, Bern 1990

Birren, J. E.; Vercruyssen, M.; Fisher, L.M.: Aging and speed of behavior. In: Arnold, K.; Lang, E.; Altern und Leistung, Thieme, Stuttgart 1991, 113-128

Bubb, H.: Produktionsergonomie. Skriptum Produktionsergonomie. Lehrstuhl für Ergonomie, Garching, TU München 2003

Bullinger, H.-J.; Kern, P.; Solf, J.J.: Ergonomische Gestaltung von Arbeitsmitteln. Z. Arb. wiss. 30 (2 NF), Dortmund, 1976/4

Bundesministerium für Arbeit und Soziales: Bericht der Bundesregierung über den Stand von Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit und über das Unfall- und Berufskrankheitengeschehen in der Bundesrepublik Deutschland im Jahre 2005, 2006

Cacha, CH. A.: Ergonomics and Safety in Hand Tool Design. CRC Press Inc.; U.S. 1999

Desai, K.; Kene, K.; Doshi, M.; More, S.; Desai, S.: Normative Data of Purdue Pegboard on Indian Population. The Indian Journal of Occupational Therapy: Vol. XXXVII: No. 3 (December, 05 - March, 06)

DIN EN 60601-1: Medizinische elektrische Geräte - Teil 1: Allgemeine Festlegungen für die Sicherheit einschließlich der wesentlichen Leistungsmerkmale (IEC 60601-1:2005); Deutsche Fassung EN 60601-1:2006

DIN EN ISO 5349-1: Mechanische Schwingungen - Messung und Bewertung der Einwirkung von Schwingungen auf das Hand-Arm-System des Menschen - Teil 1: Allgemeine Anforderungen (ISO 5349-1:2001); Deutsche Fassung EN ISO 5349-1:2001. Dezember 2001

DIN EN ISO 5349-2: Mechanische Schwingungen - Messung und Bewertung der Einwirkung von Schwingungen auf das Hand-Arm-System des Menschen - Teil 2: Praxisgerechte Anleitung zur Messung am Arbeitsplatz (ISO 5349-2:2001); Deutsche Fassung EN ISO 5349-2:2001. Dezember 2001

DIN EN ISO 13090-1: Leitfaden zur Sicherheit von Prüfungen und Versuchen mit Menschen, Teil 1: „Einwirkung von mechanischen Ganzkörperschwingungen und wiederholten Stößen“, Anhang A, Tabelle A1

DIN V 45679: Mechanische Schwingungen - Messung und Bewertung der Greif- und Andruckkräfte zur Beurteilung der Schwingungsbelastung des Hand-Arm-Systems. September 2005

Disse E.; Riedel S.; Röhrig B.; Muttray A.: Einfluss des Alters auf die Bedienung von Schraubwerkzeugen. 12. Nachwuchssymposium "Arbeitsphysiologie für Nachwuchswissenschaftler" Schwerte, 14.-16. November 2008

Fährnich, K. P.; Kern, P.; Solf, J. J.: Ergonomische Kenngrößen für Umfassungsgreifarten. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz u. Unfallforschung BAU Fb.331, Wirtschaftsverlag NW Bremerhaven, 1983

Feggeler, A.; Yoo, J. W.; Hornung V.: Ergonomische Gestaltung von handgeführten elektromotorischen Arbeitsmitteln. Schriftenreihe BAU, Fb. 668, Dortmund, Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven, 1992

Freude, G.; Ullsperger, P.; Dehoff, W.: Zur Einschätzung von Vitalität, Leistungsfähigkeit und Arbeitsbewältigung älterer Arbeitnehmer. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin BAuA Fb 876, Wirtschaftsverlag NW, Bremerhafen, 2000

Georg, A.: Alter(n)sgerechte Arbeitsgestaltung im Handwerk. ARBEIT Zeitschrift für Arbeitsforschung, Arbeitsgestaltung und Arbeitspolitik, Heft 4/2005, Lucius Stuttgart

Gillmeister, F.; Riedel, S.: Messung der Hand-Arm-Schwingungsbelastung an Maschinen und Arbeitsmitteln ohne Schwingungsmessnorm. 3. Nationale VDI-Tagung Humanschwingungen; Auswirkung auf Gesundheit – Leistung - Komfort. 8. und 9. Oktober 2007 in Dresden

Grandjean, E.: Physiologische Arbeitsgestaltung - Leitfaden der Ergonomie. eco-med, Landsberg, 4. Auflage, 1991

Greil, H.: Körpermaße 2000: aktuelle Perzentilwerte der deutschen Bevölkerung im jungen Erwachsenenalter. Brandenburgische Umweltberichte BUB S. 23-53, 2001

Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG): Statistik - Arbeitsunfälle, Prävention, 2004

Hofecker, G.; Kmeent, A.; Skalicky, M.; Niedermüller, H.: Messung des biologischen Alters. Cytobiol Rev 3 (1979), 49-54

Hofecker, G.; Kmeent, A.; Skalicky, M.; Niedermüller, H.: Probleme der Messung des biologischen Alters. Aktuelle Gerontologie 11 (1981), 8-11

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

Jeschke, D.; Bayer, Ch.; Grewe, N.; Haasis, R.; et al.: Ergometrische Normbereiche für die klinische Praxis. In: Nowacki, P.E.; Böhmer, D.: Sportmedizin. Georg Thieme, Stuttgart 1980

Jordan, P.: Anforderung an den altersgerechten Personaleinsatz. Wirtschaftsverlag Bachem, Hrsg.: Inst. für angew. Arbeitswiss. 146, 1995

Jürgens, H. W.: Erhebung anthropometrischer Maße zur Aktualisierung der DIN 33 402 Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin BAuA Fb.1023, Wirtschaftsverlag NW Bremerhaven, 2004

Kalisch, T.; Wilimzig, C.; Kleibel, N. Tegenthoff, M.; Dinse, H.R.: Age-related attenuation of dominant hand superiority. PLoS ONE, 1:e90, 2006. 1932-6203 (Electronic) Journal Article.

Kinne, J.; Latzel, K.; Melzig-Thiel, R.; Schatte, M.: Schwingungstechnische Modellierung der beiden Hand-Arm-Systeme von Bedienpersonen für die Anwendung bei der Prüfung von Handmaschinen. Abschlussbericht zum Forschungsthema F 1955 der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Druck in Vorbereitung

Kordt, M.: DAK-Gesundheitsreport 2005 - Analyse der Arbeitsunfähigkeitsdaten. Herausgeber: DAK Zentrale Hamburg, 2005

Kordt, M.: DAK-Gesundheitsreport 2008 - Analyse der Arbeitsunfähigkeitsdaten. Herausgeber: DAK Zentrale Hamburg, 2008

Landau, K.; Weißert-Horn, M.: Rademacher, H.: Altersmanagement als betriebliche Herausforderung, 2. Aufl. XI, 158 Seiten, 2007, ISBN 3-935089-05-8, ISBN 978-3-935089-05-0/KNV-Titelnr.: 19000238

Lang, E.: Leistungssteigerung durch körperliche Aktivität und Sport im Alter. In: Arnold, K.; Lang, E.; Altern und Leistung, Thieme, Stuttgart 1991, 282-290

Lehr, U.: Psychologie des Alterns. UTB Heidelberg, Wiesbaden (1991).

Lindqvist, B.: Ergonomie bei Handwerkzeugen - Beurteilung von Kraftwerkzeugen. Atlas Copco, Essen 1997

Meinel, K.; Schnabel, G.: Bewegungslehre – Sportmotorik: Abriss einer Theorie der sportlichen Motorik unter pädagogischem Aspekt, 9. Auflage, Berlin 1998, Kap. 6, S. 237-349

Meyers Konversationslexikons: Buch 1 der 4. Auflage, Leipzig 1885-90. Das Urheberrecht ist erloschen, die Inhalte sind gemeinfrei.

Morschhäuser, M.: Transferprojekt „Öffentlichkeits- und Marketingstrategie demographischer Wandel“. Projekt wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Programms "Innovative Arbeitsgestaltung – Zukunft der Arbeit" gefördert. Förderkennzeichen: 01HH9901/0, 2001

Maul, H.; Solf, J.J.: Der Weg zum richtigen Griff. REFA-Nachrichten, Verband für Arbeitsstudien, Beuth-Verlag, Berlin, 1969

Nichols, T.A.; Rogers, W.A.; Fisk, A.D.: Design for Aging. In: Salvendy, G.: Handbook of Human Factors and Ergonomics. John Wiley & Sons, Inc, 03. März 2006.

Oswald, W. D.; Gunzelmann, Th.: Altern, Gedächtnis und Leistung – Veränderung und Interventionsmöglichkeiten. In: Arnold, K.; Lang, E.; Altern und Leistung, Thieme, Stuttgart 1991, 272-281

Richtlinie 2002/44/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über Mindestvorschriften zum Schutz von Sicherheit und Gesundheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch physikalische Einwirkungen (Vibrationen), 2002

Riedel, S.; Buddhdev, N.; Husemann, B.; Kinne, J.: Ermittlung von Einflüssen altersabhängiger Veränderungen der Bedienperson auf Anforderungen an die Konstruktion sicherer Handmaschinen. Produktdesign für alle: FÜR JUNGE = FÜR ALTE? BGAG - Institut Arbeit und Gesundheit der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, 15. bis 16. Mai 2008 in der BG-Akademie Dresden

Riedel, S.; Buddhdev, N.; Husemann, B.; Kinne, J.: Untersuchung der Feinmotorik der Finger nach einer hochfrequenten Schwingungsbelastung. 54. Frühjahrskongress Gesellschaft. f. Arbeitswissenschaft, 09. bis 11. April 2008, München

Riedel, S.; Gillmeister, F.; Stang, CH.: Reduzierung der Schwingungsbelastung bei Winkel-schleifern mit Hilfe eines speziellen Flansches. ZENTRALBLATT FÜR Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie Heft 6 Band 58, Curt Haefner Verlag, Heidelberg, 2008

Robert Bosch GmbH (Hrsg.): Vom Einfluss der Ergonomie auf das Design von Elektrowerkzeugen. Über das leichtere Arbeiten mit Elektrowerkzeugen. Stuttgart 1987, Firmenschrift 57 Seiten

Rogers, W. A.: Designing for an Aging Population: Ten Years of Human Factors/Ergonomics Research. Human Factors and Ergonomics Society, USA, 1997

Rost, R.: Altern und körperliche Leistungsfähigkeit. In: Arnold, K.; Lang, E.; Altern und Leistung, Thieme, Stuttgart 1991, 54-63

Rudinger, G.: Intelligenz im Alter. Philosophische Dissertation, Universität Bonn, 1971

Rühmann, H.; Schmidtke, H.: Isometrische Maximalkräfte von Männern und Frauen an Stellteilen und Betriebsmitteln. Ergonomische Studien, Bericht Nr. 31, BWB, München, 1989

Salvendy, G.: Handbook of Human Factors and Ergonomics. John Wiley & Sons Inc.; 2006. 3. gebundene Ausgabe

Schmidtke, H.: Lehrbuch der Ergonomie. Carl Hanser Verlag, München, Wien, 2.bearb. u. erg. Auflage, 1981

Schmidtke, H.: Handbuch der Ergonomie Teil 1-5. BWB (Hrsg.), Carl Hanser Verlag, München Wien, 2. Auflage, 1989

Seibt, T.; Thinschmidt, M.; Lützkendorf, L.; Knöpfel, D.: Arbeitsfähigkeit und Vitalität bei Gymnasiallehrern unterschiedlicher Altersklassen. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin BAuA Fb.1035, Wirtschaftsverlag NW, Bremerhafen, 2004

Spirduo, W.: Physical Dimensions Of Aging. Human Kinetics, Leeds, UK, 2005

Strasser, H.: Leitgedanken zur Kunst des Alterns aus ergonomischer Sicht , Vortrag auf dem Forum „Prävention“ der AUVA vom 2. bis 5. Juni 2008 in Villach/Österreich, http://www.eval.at/fp08/docs/strasser_helmut_leitgedanken_zur_kunst_des_alterns_ausergonomischer_sicht.pdf

Strehler, B.L.: Time, cells and aging. London: Academic Press 1977

Stuart, M.; Turman, A.B.; Jacqueline Shaw, J.; Walsh, N.; Nguyen, V.: Effects of aging on vibration detection thresholds at various body regions, BMC Geriatrics 2003, 3:1

Technische Universität Darmstadt (Arbeitskreis Gesundheit): Arbeitsunfähigkeitsanalysen, 2003, <http://www.intern.tu-darmstadt.de/akgesundheit/erstergesundheitsbericht/ergebnisse/ergebnisse.de.jsp>

Thomae, H.; Lehr U.: Berufliche Leistungsfähigkeit im mittleren und höheren Erwachsenenalter. Göttingen, Schwartz, 1973

Ulmer, H.V.: Arbeitsphysiologie – Die Grundlagen der menschlichen Arbeit. In: Reichel, G.; Bolt, H.M.; Hettinger, T.; Selenka, F.; et. al.: Grundlagen der Arbeitsmedizin. Kohlhammer, Stuttgart, Berlin, Köln, Mainz, 1985

VDI 2057 Blatt 2: Einwirkung mechanischer Schwingungen auf den Menschen - Hand-Arm-Schwingungen. Verein Deutscher Ingenieure, Düsseldorf 2002

Vercruyssen, M.; Carlton, B.L.; Diggles-Buckles, V.: Aging, Reaction Time and Stages of Information Processing. In: Wendy, A.R. (Hrsg.): Designing for an aging population. Ten Years of Human Factors/Ergonomics Research. Human Factors and Ergonomics Society HFES

Wastl, P.: Hauptseminar: Bausteine der Bewegung, Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, Sportwissenschaften, Dozent: Dr. Peter Wastl, 11.07.2005

Wettmann, O.: Berufsunfälle in Forstbetrieben im Jahr 2003. Suva Bereich Holz und Dienstleistungen, Luzern, den 20.10.2005

Wieland, R.; Scherrer, K.: BARMER Gesundheitsreport 2004. Herausgeber: BARMER Ersatzkasse, Wuppertal, 2004

Wieland, R.: BARMER Gesundheitsreport 2008. Herausgeber: BARMER Ersatzkasse, Wuppertal, 2008

Woods, A.: Age differences in the effects of physical activity and postural changes on information processing speed. Doctoral dissertation, Psychology Department, University of Southern California, Los Angeles, CA, 1981

Woodson, W.E.; Tillman, P.; Tillman, B.: Human Factors Design Handbook. McGraw-Hill Professional, Jan. 1, 1992

Danksagung

Wir möchten uns bei den Doktoranden Eva Disse und Nikesh Buddhdev bedanken, die uns bei der Durchführung der experimentellen Versuche unterstützt haben.

Dank gebührt ebenso Herrn Prof. Dr. med. Axel Muttray und Dr. med. Britta Husemann vom Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin, der Johannes Gutenberg-Universität Mainz für die Betreuung der Doktoranden und für die fachliche Unterstützung und die konstruktiven Ratschläge bezüglich der Versuche.

Danke auch Herrn Dr. Bernd Röhrig für die Hilfe bei der statistischen Analyse der experimentellen Versuche.

Weiterhin möchten wir uns bei Herrn Hartmut Mutschler für die exzellente Durchführung der schwierigen und zeitaufwendigen Fragebogenaktion bedanken.

Abschließend möchten wir uns ganz besonders bei Herrn Dr. Roman Melzig-Thiel von der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin bedanken, der uns während der gesamten Projektlaufzeit mit Rat und Tat zur Seite stand.

Anhang

Fragebogen zum Gesundheitsstatus und zur Tätigkeit bzw. Erfahrung mit Handgeräten

Name:

Geburtsdatum:

2. Anamnese:

Leiden oder litten Sie unter einer der folgenden Erkrankungen/Verletzungen an Hand, Arm oder Schulter (Knochenbruch/Verletzung/Schmerzen etc.)?

ja

rechts

links



Falls ja, geben Sie bitte die Art der Verletzung und den ungefähren Zeitpunkt an:

Falls ja, sind Sie dadurch in irgendeiner Weise in Ihrer Leistungsfähigkeit beeinträchtigt?

ja



Falls ja, geben Sie bitte kurz nähere Einzelheiten an:

Tragen Sie einen Verband/Stützverband?

ja



Falls ja, geben Sie bitte kurz nähere Einzelheiten an:

Lag bei Ihnen in den letzten 8 Wochen eine Sehnenscheidenentzündung oder eine Prellung vor?

ja

Sind Sie jemals ernsthaft verletzt worden oder krank gewesen, (d. h. z. B. so, dass Sie im Krankenhaus behandelt werden mussten)?

ja



Falls, ja geben Sie bitte kurz nähere Einzelheiten und ungefähre Zeitpunkte an:

Sind Sie zurzeit in ärztlicher Behandlung?

ja



Falls ja, geben Sie bitte die Art der Behandlung an (z. B. Geräteanwendungen, Physiotherapie etc; Medikamenteneinnahme siehe übernächste Frage):

Nehmen Sie akut, bei Bedarf oder dauernd irgendwelche Medikamente ein (siehe auch nächste Frage)?

ja

nein



Falls ja, geben Sie bitte kurz nähere Einzelheiten an:

Nehmen Sie blutdrucksenkende Medikamente ein?

ja

nein



Falls ja, geben Sie bitte kurz nähere Einzelheiten an:

Haben Sie irgendein Leiden oder eine Behinderung, die den Alltag, die Arbeit oder die Reisefähigkeit beeinträchtigt?

ja



Falls ja, geben Sie bitte kurz nähere Einzelheiten und ungefähre Zeitpunkte an:

Leiden Sie unter einer Allergie?

ja



Falls ja, geben Sie bitte kurz nähere Einzelheiten an:

Leiden Sie unter einer Pflaster-Allergie?

ja

Leiden Sie zurzeit unter Rücken- oder Nackenbeschwerden?

ja



Falls ja, geben Sie bitte kurz nähere Einzelheiten an:

Haben Sie zur Zeit Ohren- oder Augenkrankheiten?

ja



Falls ja, geben Sie bitte kurz nähere Einzelheiten an:

Liegt bei Ihnen eine Netzhautablösung vor?,

ja



Falls, ja geben Sie bitte kurz nähere Einzelheiten an:

Haben Sie zur Zeit Kreislaufstörungen oder Schwindel?

ja



Falls ja, geben Sie bitte kurz nähere Einzelheiten an:

Leiden Sie zurzeit unter Bluthochdruck?

ja



Falls ja, geben Sie bitte nähere Einzelheiten und falls möglich einen ungefähren (ärztlich gemessenen) Blutdruckwert der letzten zwei Wochen an:

Messen Sie den Blutdruck selbst?

ja

Leiden Sie unter Gerinnungsstörungen des Blutes oder nehmen Sie gerinnungs-
hemmende Medikamente (z. B. Marcumar, ASS/Aspirin) ein?

ja

Blutet es lange nach, wenn Sie sich verletzt haben?

ja

Waren Sie jemals wegen Herzproblemen (Herzrhythmusstörungen, Herzinfarkt etc.)
in ärztlicher Behandlung?

ja



Falls ja, geben Sie bitte ungefähre Zeitpunkte und nähere Einzelheiten an:

Leiden Sie unter:

- Arteriosklerose (Verkalkung der Arterien)

ja seit/am:

- koronarer Herzkrankheit (Verengung der Herzkranzarterien)

ja seit/am:

- Hatten Sie schon mal einen Schlaganfall („Hirnschlag“)?

ja seit/am:

Leiden Sie unter Diabetes (Zuckerkrankheit)?

ja



Falls ja, seit:

Leiden Sie unter Gefühlsstörungen (Gefühllosigkeit, Taubheit, Kribbeln o. ä.) der
Hände, der Arme oder an anderen Körperpartien?

ja



Falls ja, geben Sie bitte ungefähre Zeitpunkte und nähere Einzelheiten an:

Leiden Sie unter einer der folgenden Erkrankungen:

Arthrose:

ja seit:



betroffene Gelenke:

rheumatoide Arthritis oder „Rheuma“

ja seit:



betroffene Gelenke:

andere Gelenkerkrankungen:

ja 

betroffene Gelenke:

seit:

Leiden Sie unter Epilepsie?

ja

3. Tätigkeitserhebung:

Geben Sie bitte Ihr Beschäftigungsverhältnis an:

Vollzeit Teilzeit arbeitsuchend

Welche Tätigkeit üben Sie zurzeit aus bzw. haben Sie zuletzt ausgeübt?

Haben Sie Übung im Umgang mit

- elektrischen Akku- oder Druckluft-Schraubern?

keine gelegentlich oft (Heimwerker) beruflich (Profi)

- Bohrmaschinen, Bohrhämmern oder ähnlichen Werkzeugen?

keine gelegentlich oft (Heimwerker) beruflich (Profi)

Wie lange gehen Sie dabei durchschnittlich einer Tätigkeit

- mit elektrischem Akku- oder Druckluft-Schrauber nach?

mehrmals am Tag mehrmals pro Woche weniger als einmal im Monat

- mit einer Bohrmaschine, einem Bohrhämmer oder ähnlichen Werkzeugen nach?

mehrmals am Tag mehrmals pro Woche weniger als einmal im Monat