

BGIA-Report 3/2008

Ergonomische Anforderungen
an Eingabemittel für
Geräte der Informationstechnik

Verfasser: Sandra Keller Chandra, Ulrike Hoehne-Hückstädt, Rolf Ellegast
BGIA – Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen
Unfallversicherung, Sankt Augustin
Peter Schäfer
Verwaltungs-Berufsgenossenschaft – VBG, Ludwigsburg

Illustrationen: Michael Hüter, Bochum

Redaktion: Zentralbereich des BGIA

Herausgeber: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV)
BGIA – Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen
Unfallversicherung
Alte Heerstr. 111, D-53757 Sankt Augustin
Telefon: +49 / 02241 / 231 – 01
Telefax: +49 / 02241 / 231 – 1333
Internet: www.dguv.de
– Februar 2008 –

ISBN: 978-3-88383-731-8

ISSN: 1869-3491

Ergonomische Anforderungen an Eingabemittel für Geräte der Informationstechnik

Kurzfassung

Intensive Computerarbeit und die damit zusammenhängende Benutzung von diversen Eingabemitteln können zu Beschwerden im Muskel-Skelett-System der Hand, des Armes, der Schulter und/oder des Nackens führen, insbesondere wenn bereits schmerzhafte Erkrankungen der oberen Extremität anderer Ursache vorliegen. In diesem Fall sollen ergonomisch gestaltete Eingabemittel helfen, Belastungen zu reduzieren und das Auftreten weiterer Beschwerden bei der Bedienung von Eingabemitteln zu vermeiden. Zwar sind Normen zu Anforderungen an diese Geräte vorhanden, jedoch sind die darin enthaltenen Aussagen teilweise allgemein umschreibend ohne quantifizierende Angaben formuliert. Daher ist es schwierig, aus ihnen konkrete Empfehlungen abzuleiten. Aus diesem Grunde hat die Verwaltungs-Berufsgenossenschaft (VBG) eine Literaturstudie initiiert, um den aktuellen Wissensstand zur ergonomischen Gestaltung von Eingabemitteln und zu ihrer Überprüfung anhand biomechanischer und physiologischer Kriterien zusammenzustellen. Eine umfangreiche Recherche der internationalen Literatur lieferte Ergebnisse zu den Themen Tastatur, Maus, Trackball, Griffel mit Tablettnutzung und Hand-/Armauflage. Außerdem wurde für Tastatur und Maus eine Checkliste nach biomechanischen und physiologischen Kriterien erstellt. Bei auftretenden Beschwerden bietet sie eine Hilfe zur ergonomischen Beurteilung und Verbesserung des Arbeitsplatzes in der Wahl der Eingabemittel.

Ergonomic requirements for computer input devices

Abstract

Intense work on computers and the associated use of various input devices may lead to disorders in the musculoskeletal system of the hand, arm, shoulder and/or neck, particularly in individuals already suffering from painful disorders of the upper extremities which have other causes. In this case, ergonomically designed input devices are intended to reduce the exposure to stresses and to prevent further disorders associated with their use. Although standards exist containing requirements for these devices, their provisions are in some cases formulated in general, descriptive terms with no quantifying data. It is therefore difficult to derive specific recommendations from them. For this reason, the VBG (institution for statutory accident insurance and prevention in the administrative sector) has launched a literature study in order to gather current knowledge on the ergonomic design of input devices and on testing of them against biomechanical and physiological criteria. A comprehensive survey of the international literature yielded results for keyboards, mice, trackballs, styli and tablets, and hand/arm rests. In addition, a checklist was drawn up for keyboards and mice in consideration of biomechanical and physiological criteria. Should disorders arise, it provides assistance in the ergonomic assessment and improvement of the workplace for selection of the input devices.

Ergonomie des périphériques d'entrée d'ordinateurs

Résumé

Le travail sur écran intensif, qui implique l'utilisation de divers périphériques d'entrée, peut conduire à des troubles musculosquelettiques de la main, du bras, de l'épaule et / ou de la nuque, en particulier dans le cas des personnes déjà atteintes d'affections douloureuses du membre supérieur ayant d'autres origines. Dans de pareilles situations, l'utilisation de périphériques d'entrée ergonomiques doit permettre de réduire les contraintes et d'éviter la survenue d'autres troubles. Il existe des normes relatives à ces appareils, certaines des spécifications que celles-ci contiennent étant cependant formulées de façon générale et sans indication quantitative. Il est par conséquent difficile d'établir des recommandations concrètes à partir de celles-ci. C'est pourquoi la Verwaltungs-Berufsgenossenschaft (VBG, Caisse mutuelle d'assurance accident de l'administration) est à l'origine d'une vaste étude des publications internationales traitant de ce thème, dont l'objectif était de rassembler les connaissances actuelles en matière d'ergonomie des périphériques d'entrée et de vérification de celle-ci à l'aide de critères biomécaniques et physiologiques. Les recherches effectuées ont donné des résultats dans les domaines suivants : clavier, souris, boule roulante, pointeur et tablette graphique ainsi qu'appui de la main / du bras. En outre, une check-list basée sur des critères biomécaniques et physiologiques a été établie pour le clavier et la souris. En cas de survenue de troubles, elle constitue une aide pour l'évaluation de l'ergonomie du poste de travail et son amélioration par le choix de périphériques d'entrée appropriés.

Especificaciones ergonómicas referentes a teclados, ratones y otros accesorios para equipos de computación

Resumen

El trabajo intensivo en la computadora y la utilización de los diversos accesorios relacionados con dicha actividad pueden originar trastornos del sistema musculoesquelético de la mano, del brazo, del hombro y/o de la nuca, especialmente cuando ya existan trastornos dolorosos de las extremidades superiores, debidos a otras causas. En estos casos, accesorios ergonómicos pueden ayudar a reducir el esfuerzo y a prevenir ulteriores molestias. Si bien existen normas referentes a las especificaciones para semejantes accesorios, estas, en parte, solamente presentan información muy generalizada y no cuentan con indicaciones cuantificadas. Es por eso, que se hace difícil derivar de ellas recomendaciones concretas. La Berufsgenossenschaft Administración (VBG por sus siglas en alemán) patrocinó un estudio de la información disponible, a fin de recopilar el estado actual de los conocimientos referentes al diseño ergonómico de accesorios para equipos de computación y a su verificación por medio de criterios biomecánicos y fisiológicos. La amplia pesquisa de la literatura internacional arrojó resultados referentes a los siguientes accesorios: teclado, ratón, trackball, tableta gráfica y reposa muñeca. Además, se elaboró un lista de comprobación para teclado y ratón, basado en criterios biomecánicos y fisiológicos. A la hora de presentarse molestias, dicha lista brinda ayuda para la valoración ergonómica, así como para mejorar el puesto de trabajo en lo referente a la selección de accesorios apropiados.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	9
2	Methode	11
2.1	Literaturrecherche	11
2.2	Sichtung von Normen und Checklisten	14
2.3	Definitionen und Erläuterungen	15
2.3.1	Definitionen und Glossar	15
2.3.2	Anatomie und Physiologie	18
2.3.3	Biomechanische Belastungsfaktoren und Erfassungsmethoden	21
3	Ergebnisse	25
3.1	Normen und Checklisten	25
3.1.1	Tastatur – Auswertung der Normen und Checklisten	25
3.1.2	Maus – Auswertung der Normen und Checklisten	27
3.1.3	Trackball – Auswertung der Normen und Checklisten	28
3.1.4	Griffel mit Tablettnutzung – Auswertung der Normen und Checklisten	29
3.1.5	Hand-/Armauflage – Auswertung der Normen und Checklisten	30
3.1.6	Zusammenfassung zur Auswertung von Normen und Checklisten	31
3.2	Literatur zur Tastatur	31
3.2.1	Bewertung der Studien zur Tastatur	31
3.2.2	Tastatur – Auswertung der Literatur	31
3.2.3	Literatur zur Tastatur – Zusammenfassung	40
3.2.4	Literatur zur Tastatur – Diskussion	40
3.3	Literatur zur Maus	41
3.3.1	Bewertung der Studien zur Maus	41
3.3.2	Maus – Auswertung der Literatur	41
3.3.3	Literatur zur Maus – Zusammenfassung	52
3.3.4	Literatur zur Maus – Diskussion	52
3.4	Literatur zum Trackball	53
3.4.1	Bewertung der Studien zum Trackball	53
3.4.2	Trackball – Auswertung der Literatur	53
3.4.3	Literatur zum Trackball – Zusammenfassung	59
3.4.4	Literatur zum Trackball – Diskussion	60
3.5	Literatur zum Griffel mit Tablettnutzung	60

3.5.1	Bewertung der Studien zum Griffel mit Tablettnutzung.....	60
3.5.2	Griffel mit Tablettnutzung – Auswertung der Literatur.....	61
3.5.3	Literatur zum Griffel mit Tablettnutzung – Zusammenfassung.....	64
3.5.4	Literatur zum Griffel mit Tablettnutzung – Diskussion.....	64
3.6	Literatur zur Hand-/Armauflage.....	65
3.6.1	Hand-/Armauflage – Auswertung der Literatur.....	65
3.6.2	Literatur zur Hand-/Armauflage – Zusammenfassung	69
3.6.3	Literatur zur Hand-/Armauflage – Diskussion	70
4	Umsetzung/Anwendung in der Praxis.....	71
4.1	Ergonomische Kriterien allgemein	71
4.2	Checklisten	72
4.2.1	Tastatur.....	73
4.2.2	Maus.....	81
5	Schlussfolgerungen und Ausblick	89
6	Stichwortverzeichnis und Abkürzungen	91
7	Literaturverzeichnis.....	93
Anhang	103
Anhang A: Inhalt der Literatur – Tastatur.....		104
Anhang B: Inhalt der Literatur – Maus		123
Anhang C: Inhalt der Literatur – Trackball		141
Anhang D: Inhalt der Literatur – Griffel mit Tablettnutzung.....		151
Anhang E: Inhalt der Literatur – Hand-/Armauflage.....		157



1 Einleitung

In der heutigen Arbeitswelt werden viele Tätigkeiten am Computer durchgeführt. Eine dänische Studie zeigt auf, dass 62 % aller Arbeitnehmer/-innen Computer benutzen [1]. In einer Untersuchung an Arbeitsplätzen in einem Finanzamt in Nordrhein-Westfalen konnte beispielsweise eine Computernutzung während 30 % der Arbeitszeit festgestellt werden [2]. Woods et al. [3] sprechen sogar von einer Computernutzung von im Schnitt sechs Stunden/Tag, wovon während ca. zwei Drittel der Zeit ein Eingabemittel benutzt wird [3; 4].

Benutzt werden diverse Eingabemittel wie Tastatur, Maus, Trackball usw. Bei der Gestaltung dieser Eingabemittel sind verschiedene Normen zu berücksichtigen, auf die in den Abschnitten 2.2 und 3.1 (siehe Seite 14 und 25) eingegangen wird.

Die bei der Betätigung von Computer-Eingabemittel aufzubringenden Muskelkräfte sind zwar nicht hoch, dennoch stellen sich monoton wiederholende Bewegungen und lang andauernde statische Haltungen in nicht neutralen Positionen gesundheitliche Risikofaktoren dar [2; 5 bis 7].

Auf Initiative der Verwaltungs-Berufsgenossenschaft (VBG) wurde eine Literaturstudie zum Thema „Ergonomische Anforderungen an Eingabemittel für Geräte der Informationstechnik“ durchgeführt. Ziel dieser Studie ist es, den aktuellen Wissensstand im Hinblick auf die ergonomische Gestaltung verschiedener Eingabegeräte zu ermitteln, um daraus eine physiologisch und biomechanisch basierte Kriterienliste zusammenzustellen. Diese soll in Bezug zu den Normen diskutiert werden.



2 Methode

2.1 Literaturrecherche

Eine internationale Literaturrecherche wurde durchgeführt, in der wissenschaftliche Studien der letzten zwanzig Jahre in englischer und deutscher Sprache berücksichtigt wurden. Die Suche erfolgte über das Internet und Datenbanken, insbesondere die der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), der Berufsgenossenschaften, CiteSeer, Compendex, Forschungsportal.net, Google Scholar, INSPEC und PubMed. Als Suchbegriffe wurden in englisch und deutsch verschiedene Eingabemittel und deren Kombinationen mit Computer, Büroarbeitsplatz, (Daten-) Eingabegeräte, Ergonomie, Peripheral Equipment, Tastaturneigung, (alternatives) Computerdesign, Belastung, Performance und Vergleich verwendet. Bei Trefferzahlen im dreistelligen Bereich wurden die Ergebnisse durchgeschaut, bei mehr als 1 000 Treffern wurde die Sucheingabe verfeinert. So lieferte z. B. der Suchbegriff „Keyboard“ bei Google Scholar 3 520 Ergebnisse, in Kombination mit „Computer“ reduzierte sich die Anzahl auf 244.

Die Literatursuche beschränkte sich auftragsgemäß auf die Eingabemittel Tastatur, Maus, Trackball, Berührungsbildschirm, Joystick und Griffel mit Tablettnutzung. Für eine fundierte Auswertung wurden allerdings nur für die Suchbegriffe Tastatur, Maus, Trackball und Griffel mit Tablettnutzung genügend bzw. geeignete Studien gefunden. Zu Berührungsbildschirm und Joystick gibt es zwar eine Vielzahl von Veröffentlichungen, der größte Teil beschäftigt sich aber mit Tätigkeiten, die am Büroarbeitsplatz nicht ausgeübt werden.

Bei der Sichtung der Literatur zu Tastatur und Maus stellte sich heraus, dass die Hand- bzw. Armauflage eine wichtige Rolle in der ergonomischen Gestaltung des Gesamtarbeitsplatzes spielt und entsprechend die ergonomische Beurteilung eines Eingabemittels hiervon stark beeinflusst wird. Daher wurde dieses Thema in die Literaturrecherche mit aufgenommen.

Kriterium für die Gewichtung eines Artikels war auf der ersten Ebene die Relevanz des untersuchten Gegenstandes. Studien, deren Inhalt keine Informationen zum



Thema „Ergonomische Anforderungen an Eingabemittel für Geräte der Informationstechnik“ lieferten, werden in diesem Report nicht erwähnt.

Auf der zweiten Ebene wurden die verbliebenen Studien nach sechs weiteren Kriterien beurteilt:

- Probandenzahl n
- Datenerfassung
- Untersuchungsplan
- Tätigkeit
- Kontrollgruppe bzw. Vergleichsgruppe
- statistische Auswertung

Anhand dieser sechs Kriterien wurden die Studien mit einer Bewertung von 1 (nicht so gut) bis 3 (sehr gut) versehen. Dabei wurde eine 3 vergeben, wenn alle sechs Kriterien, eine 2, wenn mindestens drei Kriterien und eine 1, wenn weniger als drei Kriterien zufriedenstellend erfüllt wurden. Für die einzelnen Kriterien wurden die Bedingungen, unter denen sie als erfüllt galten, wie folgt formuliert:

Probandenzahl n

Die notwendige Probandenzahl n zur Erfüllung dieses Kriteriums wurde in Abhängigkeit von der in der Studie verwendeten Methodik festgesetzt. Für Studien mit technischen Messmethoden wurde ein Minimum von 15 Testpersonen gefordert. Bei Studien, die lediglich mit Fragebogen gearbeitet hatten, musste die Probandenzahl mindestens $n = 50$ betragen.

Datenerfassung

Wie eine Studie in der Datenerfassung beurteilt wurde, hing von deren Objektivität ab. Eine technische Messung, z. B. eine elektromyografische Messung, wurde demzufolge höher bewertet als eine Untersuchung, in der ausschließlich subjektive Empfindungen mittels Fragebogen erfasst wurden. Außerdem wurde eine direkte Messung, wie z. B. die Ermittlung von Körperhaltungen bzw. Gelenkstellungen mittels eines Elektrogoniometers, höher eingestuft als eine indirekte Winkelmessung anhand eines Videobildes.



Untersuchungsplan

Bei einer technischen Messmethode ist es wichtig, dass die Testperson möglichst vergisst, dass Messungen stattfinden, sodass sie eine natürliche, d. h. dem Alltag entsprechende Haltung einnimmt. Damit die Studie für den Untersuchungsplan mit „gut“ (2) bewertet wurde, musste die Untersuchungszeit mindestens 15 Minuten betragen.

Bei Interventionsstudien, in denen Fragebögen eingesetzt wurden, um die subjektive Meinung der Testpersonen zu analysieren, musste eine genügend lange Zeit zwischen der Befragung vor und nach der Intervention liegen. Dieser Zeitraum ist abhängig vom Thema der Studie und von den angewendeten Beurteilungskriterien und wurde daher für jede Studie individuell beurteilt.

Tätigkeit

Dieser Punkt war erfüllt, wenn die Tests mit einer angemessenen Aufgabenstellung durchgeführt wurden. Um relevante Aussagen über ein Eingabemittel unter der Fragestellung dieser Studie machen zu können, erschien es unabdingbar, dieses während einer arbeitstypischen Tätigkeit bzw. Bewegung zu testen.

Kontrollgruppe/Vergleichsgruppe

Es kann zwischen Interventionsstudien und Vergleichsstudien unterschieden werden. Bei einer Interventionsstudie, in der beispielsweise die Auswirkung einer ergonomischen Tastatur untersucht werden soll, ist eine Kontrollgruppe unerlässlich. Deren Vorhandensein ist Bedingung, um diesen Punkt der Kriterienliste zu erfüllen.

Bei einer Studie, in der z. B. zwei unterschiedliche Eingabemittel verglichen werden, ist eine Kontrollgruppe in dem Sinne nicht notwendig. Hier sind zur Erfüllung des Kriteriums Vergleichsgruppen ausreichend.

Statistische Auswertung

Für dieses Kriterium wurde vorausgesetzt, dass eine statistische Auswertung durchgeführt und nachvollziehbar dargelegt wurde.



Eine weniger gute Bewertung einer Studie schloss allerdings nicht aus, dass deren Informationen trotzdem verwendet wurden, besonders bei den Themengebieten, für die eine geringe Zahl von Studien gefunden wurden. Das Bewertungsverfahren soll lediglich helfen, die Gewichtung der Informationen nachvollziehbar einzuschätzen.

2.2 Sichtung von Normen und Checklisten

Um einen Überblick über die zurzeit geltenden Kriterien für Eingabemittel zu gewinnen, wurden als Erstes verschiedene Normen und Checklisten für den deutschen, europäischen und transatlantischen Raum gesichtet.

Bestimmte Themenbereiche, z. B. die Bestimmungen zur Neigung der Tastatur, zum Verhalten der Tasten oder zur Lage der Maus, wurden miteinander verglichen, um eventuelle Unterschiede herauszuarbeiten und sie später mit den Inhalten der gefundenen Studien zu vergleichen oder auch zu ergänzen. Die einbezogenen Normen und Checklisten sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1:
Übersicht der einbezogenen Normen und Checklisten

Norm/Checkliste	Inhalt: Eingabemittel
DIN EN ISO 9241-400 [8]	Eingabegeräte allgemein
DIN EN ISO 9241-4 [9]	Tastatur
DIN EN ISO 9241-5 [10]	Hand-/Armauflage
DIN EN ISO 9241-9 [11]	verschiedene Eingabemittel außer Tastatur
ISO/FDIS 9241-410 [12]	verschiedene Eingabemittel
Arbeit mit dem Bildschirm aus dem „Handbuch der Arbeitsmedizin“ [13]	Tastatur, Maus
Bildschirm- und Büroarbeitsplätze. Berufsgenossenschaftliche Information (BGI 650). VBG [14]	Tastatur, Maus
Guidelines to the selection and purchase of workstation furniture and equipment. Human Resource Management Division (HRM), Neuseeland [15]	Tastatur, Maus



Tabelle 1: Fortsetzung

Norm/Checkliste	Inhalt: Eingabemittel
Health and safety regulations. Workstation risk assessment questionnaire. Health and Safety Executive (HSE), England [16]	Tastatur
Ergonomics for the Prevention of Musculoskeletal Disorders. Swedish National Board of Occupational Safety and Health, Schweden [17]	Tastatur
Guidelines on office ergonomics, CSA-Z412. Canadian Standards Association (CSA) International, Kanada [18]	verschiedene Eingabemittel

2.3 Definitionen und Erläuterungen

2.3.1 Definitionen und Glossar

Im Folgenden wird die Bedeutung einiger Begriffe und Bezeichnungen, die in diesem Report verwendet werden, näher erläutert bzw. klar definiert.

Tastaturneigung

Die Tastatur wird um ihre Längsachse vom Bildschirm weg – positive Neigung (Abbildung 1) – oder zum Bildschirm hin – negative Neigung (Abbildung 2) – gedreht.

Abbildung 1:
Positive Tastaturneigung



Abbildung 2:
Negative Tastaturneigung



Laterale Tastaturneigung

Die Tastaturhälften werden zeltförmig aufgerichtet (Abbildung 3).



Abbildung 3:
Dachförmige Tastaturneigung

Auswärtsdrehung der Tastaturhälften

Die Tastaturhälften werden um ihre senkrechten Achsen auswärts gedreht (Abbildung 4).

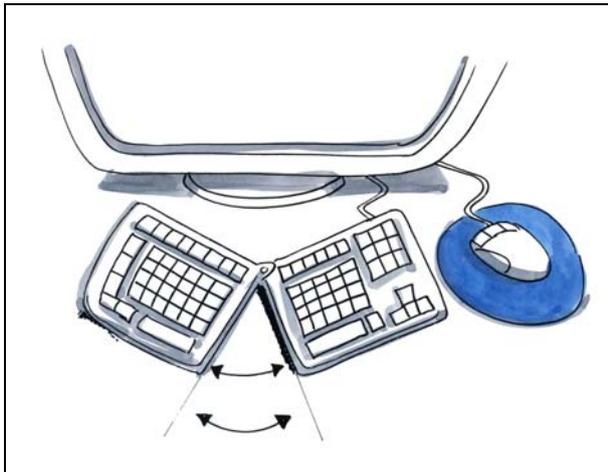
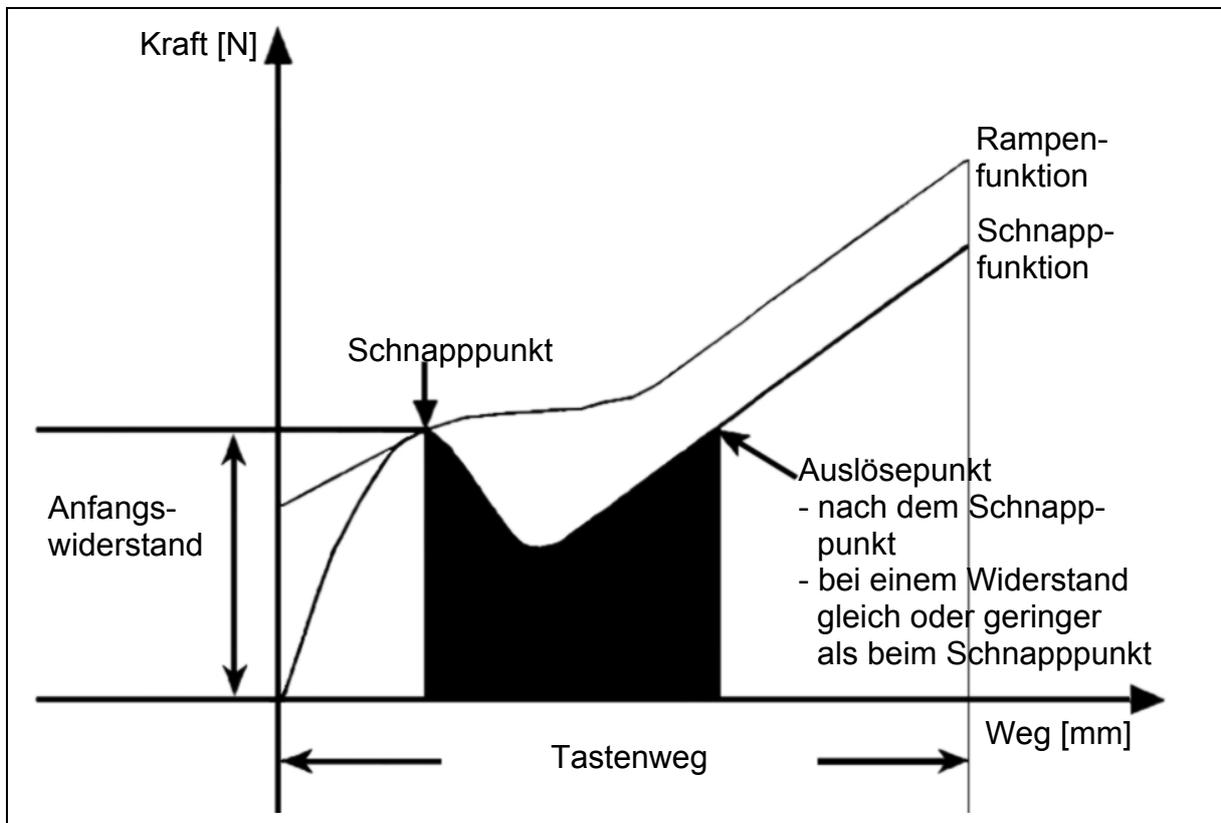


Abbildung 4:
Auswärtsdrehung der Tastaturhälften

Tastenweg

Unter dem Tastenweg (auch Tastenhub genannt) versteht man den Weg, den eine Taste beim Anschlag bewegt werden kann. Abbildung 5 (siehe Seite 17) zeigt zwei mögliche Verläufe der aufzubringenden Fingerkraft in Abhängigkeit vom Tastenweg der Tastatur. Charakteristische Punkte im Verlauf der Tastenbewegung sind markiert und werden im Folgenden erläutert.

Abbildung 5:
Kraft-Weg-Tastenverlauf, nach DIN EN ISO 9241-4 [9]



Rampenfunktion (Tastatur)

„Kinästhetische Empfindung während der Tastenbetätigung, bei der die für die Tastenbetätigung erforderliche Kraft ansteigt, wenn die Taste bewegt wird“ [9] (Abbildung 5).

Schnappfunktion (Tastatur)

„Plötzlicher Abfall der für die weitere Tastenbewegung erforderlichen Kraft“ [9] (Abbildung 5).

Trackball = Rollkugel

Ein Trackball ist ein Zeigegerät, bei dem eine Kugel beweglich in einem festen Gehäuse sitzt und diese mit den Fingern zum Steuern der Zeigerbewegung in jede Richtung gerollt werden kann (Abbildung 6, siehe Seite 18).

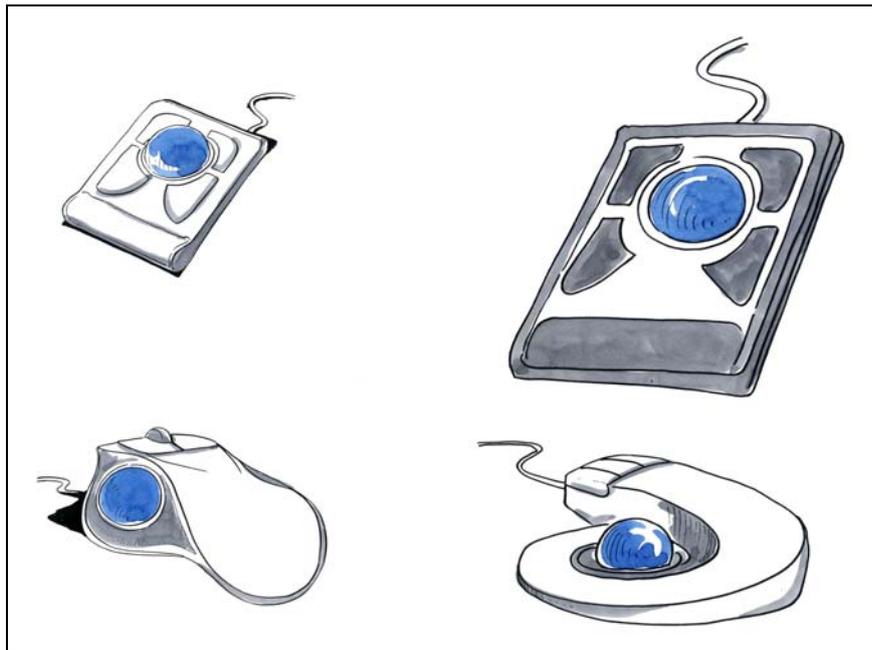


Abbildung 6:
Trackballbeispiele

2.3.2 Anatomie und Physiologie

Im Folgenden werden einige anatomische und physiologische Begriffe aus diesem Report definiert und erklärt. Zunächst werden die Bewegungen des Arms und der Hand nach der Neutral-Null-Methode erläutert. Bei der Neutral-Null-Methode werden alle Gelenkbewegungen von einer einheitlich definierten Null-Stellung aus gemessen. Diese Neutral-Null-Stellung entspricht der Gelenkstellung, die ein gesunder Mensch im aufrechten Stand mit hängenden Armen, nach vorn gehaltenen Daumen und parallel ausgerichteten Füßen sowie gerade nach vorne gewendetem Blick einnimmt. Von der Neutral-Null-Stellung aus sind üblicherweise in einer Ebene Bewegungen in beide Richtungen möglich.

In den folgenden Abbildungen sind sowohl die Neutralposition bei 0° und der physiologische Bewegungsumfang in Gradzahlen angegeben als auch die Bewegungsrichtung wiedergegeben und erläutert. Abgebildet sind jeweils die Neutralposition bei 0° und der Bewegungsumfang.

Abduktion und Adduktion der Finger

Diese Bezeichnungen beschreiben das Auseinanderspreizen bzw. Zusammenführen der Finger.



Bewegungsbereich der Hand

Abbildung 7 gibt die seitwärts gerichteten Bewegungen der Hand zum Daumen bzw. kleinen Finger hin wiedergegeben. Abbildung 8 veranschaulicht dahingegen die Streckung im Handgelenk in Richtung zum Handrücken und die Beugung im Handgelenk in Richtung zur Handfläche.

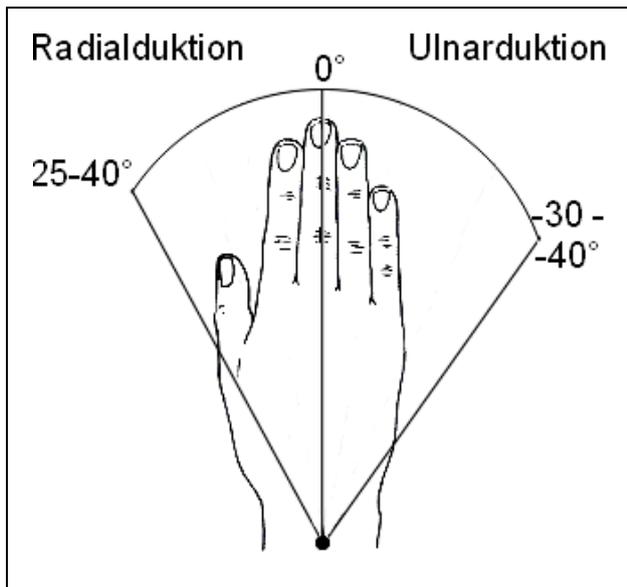


Abbildung 7:
Radialduktion: in Richtung Daumen (zur Speiche hin); Ulnarduktion: in Richtung des kleinen Fingers (zur Elle hin)

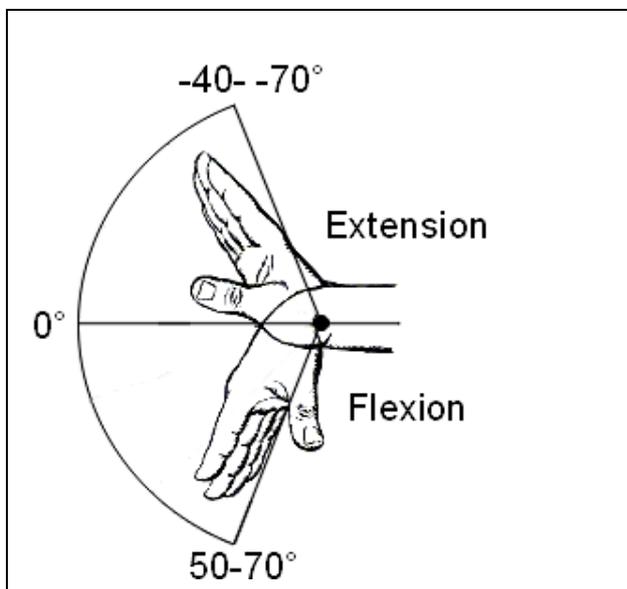


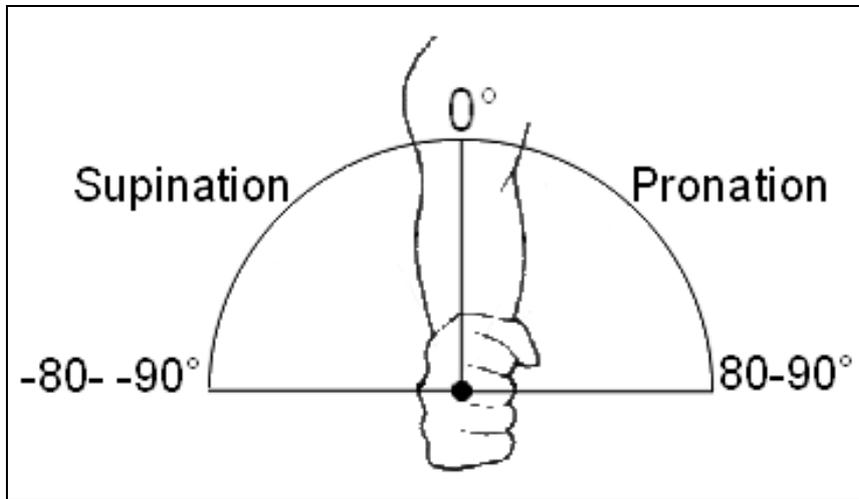
Abbildung 8:
Hand-Extension: in Richtung zum Handrücken; Hand-Flexion: in Richtung zur Handfläche

Bewegungsbereich des Unterarmes

Die Umwendung des Unterarms, die eine Drehung der Handfläche nach oben oder nach unten bewirkt, ist in Abbildung 9 (siehe Seite 20) verdeutlicht.



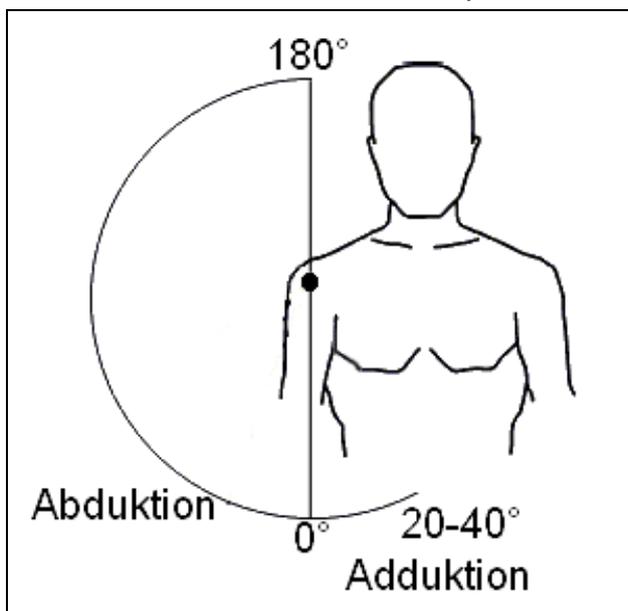
Abbildung 9:
 Supination: Handfläche nach oben drehen;
 Pronation: Handfläche nach unten drehen



Bewegungsbereich des Oberarms

Die Schulter kann Bewegungen in allen drei Ebenen ausführen. Abbildung 10 zeigt die seitlichen Bewegungen des Armes, Abbildung 11 das Führen des Arms nach hinten und nach vorne und Abbildung 12 die Drehung des Oberarms um die eigene Achse.

Abbildung 10:
 Abduktion: Arm seitlich vom Körper weg anheben;
 Adduktion: Arm seitlich zum Körper hinführen



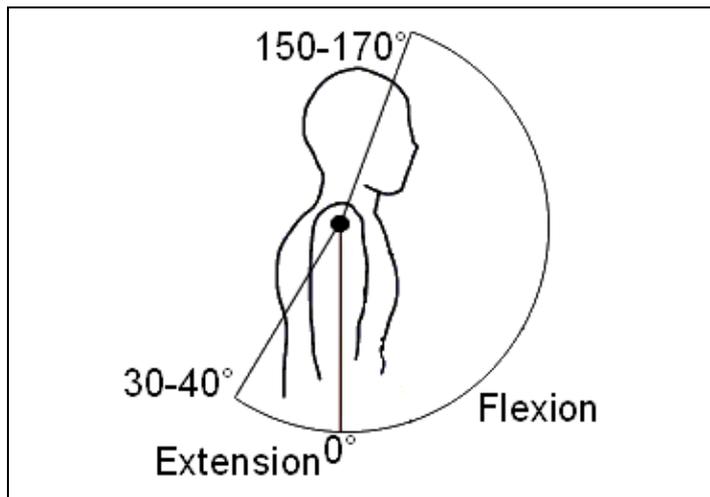


Abbildung 11:
Arm-Extension: Arm nach hinten führen; Arm-Flexion: Arm bis 90° nach vorne führen (> 90° = Elevation)

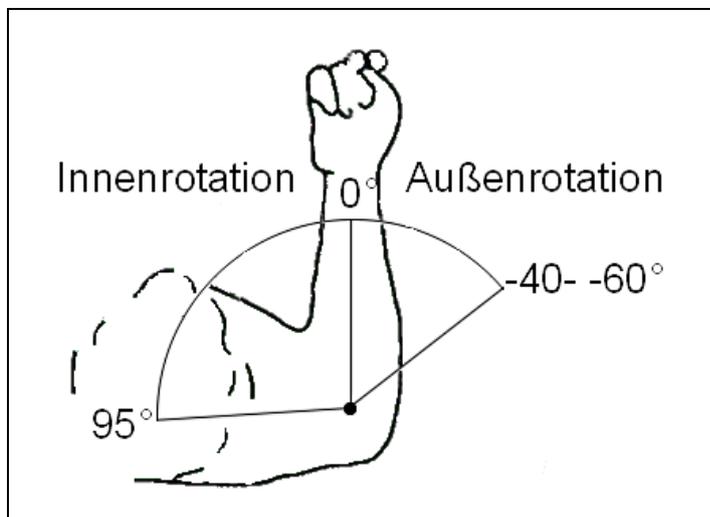


Abbildung 12:
Innenrotation: Oberarm nach innen drehen, Unterarm geht mit; Außenrotation: Oberarm nach außen drehen, Unterarm geht mit

2.3.3 Biomechanische Belastungsfaktoren und Erfassungsmethoden

Hier werden für das Thema „Computer-Eingabemittel“ relevante biomechanische Belastungen erläutert und deren Messmethoden zusammenfassend dargestellt.

Ungünstige Körperhaltungen

Die Neutralposition zeichnet sich unter Anderem dadurch aus, dass muskuläre Belastungen gering sind. Mit zunehmender Abweichung von der Neutralposition kann eine steigende Belastung angenommen werden. Um Abweichungen von der Neutralposition zu bestimmen, können Gelenkstellungen mit einem Winkelmesser, ein Goniometer, manuell oder elektronisch gemessen werden.



Eine weitere Möglichkeit ist die optoelektrische Messung, bei der reflektierende Marker auf zwei benachbarten Körpergliedern angebracht werden, sodass deren Positionen und damit die Gelenkwinkel über Infrarot-Kameras festgestellt werden können.

In einigen Studien wurden auch Körperhaltungen durch Beobachtungen erfasst und analysiert. Dies kann direkt oder per Video erfolgen. Diese beiden Messmethoden sind aber weit weniger objektiv und genau als die Goniometermethode oder optoelektrische Messungen.

Statische Körperhaltungen

Als statische Haltungen werden nach der europäischen Norm DIN EN1005-1 [19] Körperhaltungen bezeichnet, die unter gleich bleibendem oder gering veränderlichem Kraftniveau länger als vier Sekunden eingenommen werden. Das Schädigungspotenzial statischer Körperhaltungen wird vorrangig in der Verursachung von Muskelermüdung erkannt. In der Folge treten Veränderungen des Stoffwechsels, der Schmerzempfindung und der Bewegungsmuster auf, die schließlich auch zu einer Überlastung passiver Strukturen des Muskel-Skelett-Systems führen können.

Statische Haltungen können mit den zuvor unter „Ungünstige Körperhaltungen“ beschriebenen Messmethoden ermittelt werden.

Repetitive Bewegungen

Als repetitive Bewegungen bezeichnet man Bewegungen bzw. Bewegungsabläufe (Zyklen), die sich gleichförmig in einem bestimmten Zeitraum wiederholen. Sind diese Zyklen sehr kurz bzw. die Wiederholungsfrequenz der Bewegung hoch, führt dies zu Beanspruchungen aktiver und passiver Strukturen des Muskel-Skelett-Systems.

Nach *Kilbom* wird eine solch hohe Repetitivität angenommen, wenn die in Tabelle 2 dargestellten Richtwerte für Bewegungen oder Kontraktionen bezogen auf bestimmte Gelenkregionen überschritten werden.



Tabelle 2:
Richtwerte für repetitive Gelenkbewegungen des
Schulter-Arm-Hand-Systems, nach *Kilbom* [20]

Gelenk	Richtwert für Repetitivität
Schulter	> 2,5/Minute
Oberarm, Ellenbogen	> 10/Minute
Unterarm, Handgelenk	> 10/Minute
Finger	schätzungsweise > 200/min

Kraftaufwand

Belastend können nicht nur hohe Kraftanstrengungen, sondern auch intermittierend statische Haltungen und repetitive Bewegungen über einen längeren Zeitraum sein. Gemessen werden können Muskelaktivitäten und Muskelspannungen mittels Elektromyographie (EMG). Bei einem Oberflächen-EMG werden Sensoren nach in der Literatur beschriebenen regelrechten Positionierungen auf die Haut geklebt. Diese Elektroden liefern Signale, die messtechnisch verstärkt, gefiltert und gleichgerichtet werden. In der Analyse und physiologischen Interpretation der Kurvenverläufe werden als quantitative Maße die Amplitude und das Frequenzspektrum des EMG, daraus abgeleitete Kenngrößen sowie deren zeitliche Veränderung herangezogen. Um diese Messwerte innerhalb einer Messreihe und zwischen mehreren Probanden vergleichen zu können, werden den Messsequenzen jeweils meist maximale willentliche Kontraktionen (MVC, maximal voluntary contraction) oder seltener Referenzkontraktionen (RVC, reference voluntary contraction) vorgeschaltet und ebenfalls aufgezeichnet. Die Messwerte aus den Messreihen werden dann zu denen der maximalen willentlichen Kontraktion (angegeben in % MVC) oder der Referenzkontraktion (angegeben in % RVC) ins Verhältnis gesetzt und damit praktisch normiert [21; 22].



3 Ergebnisse

3.1 Normen und Checklisten

Im Folgenden sind einige Angaben zu verschiedenen Eingabemitteln aus unterschiedlichen Quellen (Normen und Checklisten, siehe Abschnitt 2.2, Seite 14) aufgelistet. Der Schwerpunkt liegt dabei auf Themen, die in den gesichteten Studien als ergonomische Kriterien behandelt wurden.

3.1.1 Tastatur – Auswertung der Normen und Checklisten

In den Normen und Checklisten in Tabelle 1 (Seite 14) werden Angaben zur Tastaturneigung, -höhe, -größe, zum Tastenweg und Tastenwiderstand aufgeführt.

Tastaturneigung

Die englische Health and Safety Executive (HSE) empfiehlt, dass die Tastatur prinzipiell neigbar sein soll [16] und entspricht damit der EU-Bildschirmrichtlinie [23]. Darüber hinaus werden in Normen und verschiedenen Checklisten konkrete Neigungswinkelbereiche als Sollwerte angegeben (Tabelle 3).

Tabelle 3:
Empfehlungen zur Tastaturneigung in Normen und Checklisten

	DIN EN ISO 9241-4 [9]	ISO/FDIS 9241-410 [12]	BGI 650 [14]	HRM [15]	Occupational Safety & Health, Schweden [17]	Arbeit mit dem Bildschirm [13]
≤ 15°			X	X		
0 bis 15°					X	
0 bis 10°, eventuell variabel						X
Empfehlung: 5 bis 12°, Muss: 0 bis 15°	X	X				



Tastaturhöhe

Zur Tastaturhöhe fanden sich in den Normen und Checklisten die Maßangaben in Tabelle 4. Zusätzlich zu den Empfehlungen, dass die Tastatur möglichst flach und nicht höher als 30 mm sein sollte, erlauben DIN EN ISO 9241-4 und ISO/FDIS 9241-410 in Abweichung von den übrigen Normen und Checklisten eine maximale Höhe der Tastatur bis 35 mm [9; 12].

Tabelle 4:
Empfehlungen zur Tastaturhöhe in Normen und Checklisten

	DIN EN ISO 9241-4 [9]	ISO/FDIS 9241-410 [12]	BGI 650 [14]	HRM [15]	Occupational Safety & Health, Schweden [17]	Arbeit mit dem Bildschirm [13]
≤ 30 mm			X	X	X	X
< 30 mm, maximal 35 mm	X	X				

Tastaturgröße

Zu einer zu bevorzugenden Tastaturgröße konnten nur in ISO/FDIS 9241-410 vage Formulierungen mit appellativem Charakter gefunden werden [12]. So soll für den Fall, dass neben der Tastatur eine Maus verwendet wird, die Tastatur auf der entsprechenden Seite möglichst kurz sein. Bei einer Arbeitsfläche von geringerer Tiefe, also mit wenig Platz zwischen Tastatur und Bildschirm, sollte die Tastatur auch eine möglichst geringe Bautiefe aufweisen.

Tastenweg

Als tolerable Werte für den Tastenweg werden in entsprechenden Normen und Checklisten Werte von 1,5 bis 6 mm, mit einem Optimum zwischen 2 und 4 mm angegeben [9; 12; 14].



Tastenwiderstand

Tabelle 5 stellt die in der angegebenen Literatur als akzeptabel erachteten Kräfte, die zur Überwindung des Tastenwiderstandes aufgebracht werden müssen, gegenüber. In DIN EN ISO 9241-4 und ISO/FDIS 9241-410 wird außer dem Toleranzbereich von 0,25 bis 1,5 N der Idealbereich von 0,5 bis 0,8 N definiert.

Tabelle 5:
Tastenwiderstand

	DIN EN ISO 9241-4 [9]	ISO/FDIS 9241-410 [12]	BGI 650 [14]	Arbeit mit dem Bildschirm [13]
0,25 bis 1,5 N				X
Ideal 0,5 bis 0,8 N	X	X	X	
Muss: 0,25 bis 1,5 N	X	X		

Für die Kraft, die für den Anfangswiderstand aufgewendet wird, gilt, dass sie 25 bis 75 % von der bis zum Auslösepunkt aufzubringenden betragen muss [9; 12].

3.1.2 Maus – Auswertung der Normen und Checklisten

Bei den Informationen zur Maus werden im Speziellen die Form, Position, Funktion, Tasten und der Kraftaufwand erwähnt.

Form

Größe, Design und Tastenpositionen sollen eine entspannte bequeme Handhaltung erlauben [15] bzw. eine verkrampfte Handhaltung verhindern [17]. Die Finger sollten ohne große Abweichung von der Neutralhaltung die Tasten betätigen können [11].

Position

Die Maus soll auf derselben Höhe wie die Tastatur liegen [15] und sie sollte ohne Abduktion des Armes und mit neutralem Handgelenk bedient werden [18].

Funktion

Die Maus muss für Rechts- und Linkshänder/-innen benutzbar sein [12; 14; 17].

Tasten

Die erforderliche Kraft für die Tastenbetätigung soll 0,5 bis 1,5 N [12] betragen, die Weglänge 0,5 bis 6 mm [11; 12; 18].

Kraftaufwand

Es wird angenommen, dass eine Mausbetätigung eine Kraftanstrengung von nicht mehr als 1 % der maximalen Fingerkraft erfordert [12]. Referenzwerte zu dieser Maximalkraft wurden nicht angegeben.

3.1.3 Trackball – Auswertung der Normen und Checklisten

Zum Trackball werden Informationen über die Rollkugel, die Tasten, die Pflege sowie die Vor- und Nachteile gegenüber der Maus in den einschlägigen Normen aufgeführt.

Kugel

Der Öffnungswinkel des unverdeckten Kugelsektors sollte 100 bis 140°, idealerweise 120° betragen [11; 12] (Abbildung 13). Der Mindestdurchmesser des sichtbaren Kugelsegmentes wird mit 25 mm angegeben [11; 12; 18] (Abbildung 13).

Für den Rollwiderstand wird eine Spanne von 0,2 bis 1,5 N akzeptiert; der Anfangswiderstand soll zwischen 0,2 und 0,4 N liegen [11; 12; 18].

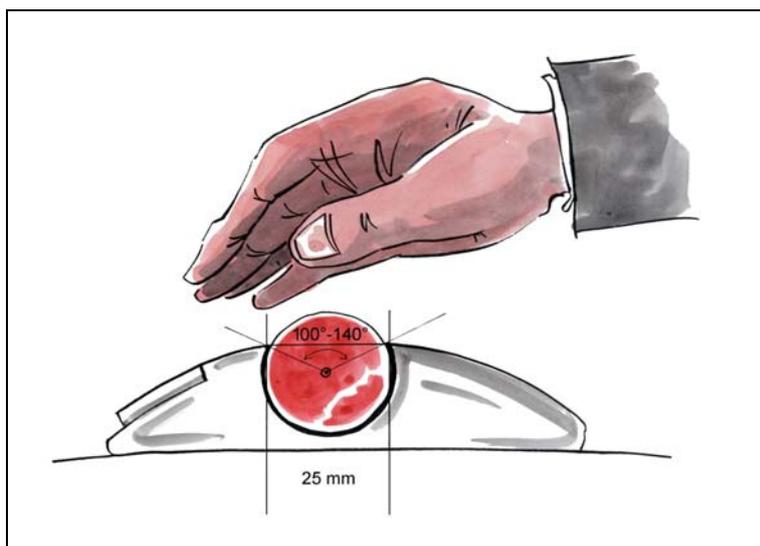


Abbildung 13:
Durchmesser und Öffnungswinkel des unverdeckten Kugelsektors einer Rollkugel, aus DIN EN ISO 9241-9 [11]



Tasten

Die Tasten sollten so angeordnet sein, dass sie die Hand nicht stören. Ansonsten gelten die Bestimmungen für die Tasten der Maus [12].

Vor- und Nachteile des Trackballs im Vergleich zur Maus

- Die Maus wird in ihrer Effektivität und Effizienz als besser beurteilt. Bei grafischen Anwendungen und in Umgebungen mit wenig Platz wird der Trackball bevorzugt [12].
- Ein Kontrollverlust tritt öfter auf als bei der Maus [12].
- In der Beeinträchtigung durch Umgebungsfaktoren wie Vibrationen, Instabilität der Arbeitsfläche, Schmutz und Staub sind Maus und Trackball vergleichbar [12].

Sonstiges

Die Sauberhaltung des Trackballs ist für ein gutes Rollverhalten der Kugel wichtig [12].

3.1.4 Griffel mit Tablettnutzung – Auswertung der Normen und Checklisten

Im Folgenden wird auf das Design, die Tasten und die Kraftaufwendung des Griffels mit Tablettnutzung eingegangen.

Design

Ein Griffel in Zylinderform sollte 120 bis 180 mm lang sein und einen Durchmesser von 7 bis 20 mm aufweisen [11; 12; 18], bei einem bevorzugten Gewicht von 10 bis 25 g [11; 12; 18].

Tasten

Die Kontaktflächen der Tasten sollten senkrecht zur Druckrichtung und zur Fingerbewegung während der Flexion sein [12; 18]. Außerdem sollten sie kreisförmig sein mit einem Mindestdurchmesser von 5 [12; 18] bzw. 6 mm [11].



Kraftaufwendung

Tabelle 6 gibt eine Übersicht über Angaben zum Kraftaufwand beim Griffel mit Tablettnutzung in Normen und Checklisten.

Tabelle 6:
Kraftaufwand beim Griffel mit Tablettnutzung

	DIN EN ISO 9241-9 [11]	ISO/FDIS 9241-410 [12]	CSA-Z412 [18]
Bei fortwährender Eingabe sollte die erforderliche Kraft auf das Tablett 0,5 N nicht überschreiten.			X
Bei fortwährender Eingabe sollte die erforderliche Kraft auf das Tablett 1,5 N nicht übersteigen.	X	X	
Die Aktivierungskraft der Auswahlelemente sollte zwischen 0,3 und 1,5 N liegen.	X	X	

3.1.5 Hand-/Armauflage – Auswertung der Normen und Checklisten

In Tabelle 7 sind Empfehlungen dazu aufgelistet, wie viel Platz vor der Tastatur für eine Hand-/Armauflage vorhanden sein soll.

Tabelle 7:
Platz vor der Tastatur

	DIN EN ISO 9241-4 [9]	DIN EN ISO 9241-5 [10]	ISO/FDIS 9241-410 [12]	BGI 650 [14]	HSE [16]	Arbeit mit dem Bildschirm [13]
genügend Platz für Hände und Arme					X	
> 50 mm vor dem Tastenfeld						X
wenn keine Handauflage: mindestens 100 mm vor Tastatur	X	X	X			
100 bis 150 mm vor Tastatur				X		



3.1.6 Zusammenfassung zur Auswertung von Normen und Checklisten

Bei den Angaben in Normen und Checklisten sind keine grundsätzlichen Widersprüche zu finden. Manchmal werden lediglich die Grenzen unterschiedlich eng gesetzt, wie z. B. bei der Tastaturneigung, dem Platz vor der Tastatur für die Hand-/Armauflage oder dem Kraftaufwand beim Griffel mit Tablettnutzung. Oft bleiben die Empfehlungen allerdings vage. Konkrete Ableitungen von Parametern für Checklisten sind dadurch schwierig.

3.2 Literatur zur Tastatur

3.2.1 Bewertung der Studien zur Tastatur

Tabelle 8 zeigt die Anzahl der bearbeiteten und unterschiedlich bewerteten Artikel. Die Bewertungskriterien sind in Abschnitt 2.1 (Seite 11 ff.) erläutert. Kurzinhalte der Studien sind im Anhang A (Seite 104 ff.) zu finden.

Tabelle 8:
Übersicht der Literatur zur Tastatur

Bewertung	1	2	3	Summe
Anzahl	2	16	6	27

3.2.2 Tastatur – Auswertung der Literatur

Eine Tastatur zwingt dem Benutzer eine bestimmte Haltung des Schulter-Arm-systems auf. In der Literatur findet man Daten, die insbesondere Hand-/Unterarmhaltungen in drei Dimensionen beschreiben: in der Transversalebene die Ulnar- bzw. Radialduktion, in der Sagittalebene die Extension bzw. Flexion und in der Frontalebene die Pronation bzw. Supination (siehe Abbildungen 7 bis 12 in Abschnitt 2.3.2, Seite 18 ff.). Folgende Handhaltungen wurden bei Benutzung einer konventionellen Tastatur beobachtet [24 bis 26]:

- Hand-Extension: 8 bis 20°
- Hand-Ulnarduktion: 10 bis 20°
- Unterarm-Pronation: ca. 80° (fast vollständig)



Die berichteten gesundheitlichen Probleme scheinen ihre Ursache unter Anderem in der Abweichung der Handhaltung von der Neutralstellung zu haben [27]. Folgende Maßnahmen können dazu dienen, während der Tastaturnutzung eine annähernd neutrale Handstellung zu erreichen:

- Reduzierung der Extension: negative Neigung der Tastatur oder Erhöhung des Handgelenks über das Niveau des Ellbogens
- Reduzierung der Ulnardeviation: Trennen und Auswärtsdrehen der Tastaturhälften
- Reduzierung der Pronation: laterale Neigung der Tastaturhälften

Vor- und Nachteile dieser Maßnahmen werden im Folgenden diskutiert.

Negative Neigung

Eine negative Neigung der Tastatur wurde in mehreren Studien untersucht und für positiv befunden [5; 24; 25; 28 bis 32]. Die Abhängigkeit der Handhaltung von der Neigung der Tastatur wird in Abbildung 14 deutlich: Mit dem Grad der positiven Neigung nimmt die Extension im Handgelenk zu, wohingegen sich die Handstellung in Richtung Flexion verändert, je flacher bzw. mehr negativ geneigt die Tastatur aufgestellt ist (Abbildung 14). Bei Änderung der Neigung von 7,5 auf -15° wurde eine Reduktion der Handgelenk-Extension von 12 auf 3° beobachtet, was ungefähr einem Verhältnis von 2 : 1 entspricht [30]. Wenn die Testpersonen den Neigungswinkel der Tastatur selbst einstellen konnten, wählten sie bei *Hedge* und *Powers* [32] $-12 \pm 0,4^\circ$, bei *Marklin* und *Simoneau* [24] empfanden sie eine Neigung von $-7,5^\circ$ am bequemsten. In diesen Positionen befand sich das Handgelenk bezüglich Extension/Flexion in beinahe neutraler Stellung. *Gilad* und *Harel* [5] konnten in ihrer Studie aufzeigen, dass die EMG-Werte der Unterarmmuskulatur (sowohl der Flexoren als auch der Extensoren) bei einer negativen Tastaturneigung von ca. -10° niedriger waren. Bei *Woods* und *Babski-Reeves* [28] allerdings wurden zu diesem Kriterium keine Unterschiede zwischen 0 und -7° Neigung gefunden. In einer epidemiologischen Studie von *Cail* und *Aptel* [33] wurden bei Computerbenutzern mit Beschwerden für die Handgelenk-Extensionen während der Arbeit signifikant höhere Winkelwerte nachgewiesen als bei Benutzern ohne Beschwerden (im Mittel 37 zu 26°).

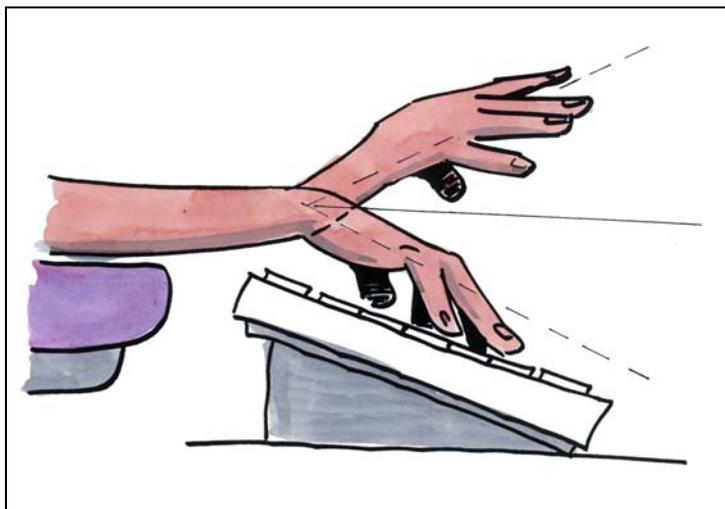


Abbildung 14:
Wirkung der Tastaturneigung
auf die Handhaltung

Bei Änderung der Tastaturneigung zum Bildschirm hin wurde neben der Reduktion der Extension allerdings auch eine Erhöhung der Ulnardeviation beobachtet [24; 25; 28]. Diese kann durch eine Auswärtsdrehung der Tastaturhälften kompensiert werden (siehe unten).

Erhöhung des Handgelenks

Durch eine Erhöhung des Handgelenks über das Niveau des Ellbogens kann ebenfalls eine Reduzierung der Handgelenk-Extension erreicht werden. Da aber beobachtet wurde, dass durch eine solche Haltung Schulter- und Nackenprobleme entstehen können, ist diese Maßnahme nicht ratsam [30; 34]. Empfohlen wird daher eine Arbeitshaltung mit Platzierung der Handgelenke auf Höhe der Ellbogen.

Auswärtsdrehen der Tastaturhälften

Bei einer Auswärtsdrehung der Tastaturhälften um insgesamt ca. 25° ($12,5^\circ$ pro Hälfte) wurde eine Ulnardeviation von nahezu 0° gemessen, also eine Neutralhaltung für diese Dimension erreicht [24; 27]. Die Testpersonen bevorzugten bei Selbsteinstellung der Auswärtsdrehung zu 48 % Winkel zwischen 11 und 20° , 35 % wählten 21 bis 28° , lediglich 17 % entschieden sich für 0 bis 10° [29]. Muskeln im Unterarm, die für die Ulnardeviation verantwortlich sind (*M. flexor carpi ulnaris*), wiesen bei ergonomischen Tastaturen mit um 12° ausgedrehten Tastaturhälften (12° rechts, 12° links) verminderte Aktivitäten von ca. 10 % auf [26].



Getrennte Tastaturhälften

Über das Thema getrennte Tastaturhälften und die Frage, wie weit sie auseinander liegen sollen, wurden nur unzureichende Informationen gefunden. Theoretisch könnte die Ulnardeviation durch eine schulterbreite Platzierung eliminiert werden [24]. Bei *Swanson* et al. [35] bekundeten die Testpersonen mit dieser weit auseinander liegenden Position allerdings Schwierigkeiten.

Laterale Neigung der Tastaturhälften

Zum Versuch, durch eine laterale Neigung der Tastaturhälften die Pronation des Unterarmes zu reduzieren, wurden Studien mit zweischneidigen Aussagen gefunden. Bei einer lateralen Neigung von 10° wurde bei *Zecevic* et al. [27] eine Reduktion der Pronation um lediglich 5° festgestellt. Bei einer Neigung von 42° wurde die Pronation zwar von im Schnitt 57° auf 34° gesenkt, die steile Zeltform der Tastatur verursachte den Testpersonen allerdings Probleme bei der Handhabung. In einer weiteren Studie durften die Testpersonen die laterale Neigung selbst bestimmen [24]. Sie wählten im Mittel links einen Winkel von 28° , rechts von 33° und reduzierten damit die Pronation um etwa die Hälfte. Eine ungeteilte Akzeptanz konnte auch hier nicht erzielt werden. Bei *McLoone* und *Jacobsen* [36] hingegen waren sich die Testpersonen einig, dass sie von den drei Neigungswinkeln 8° , 10° und 12° den letzteren bevorzugten.

Bei der EMG-Messung von *Strasser* et al. [26] bewirkte eine laterale Neigung der Tastaturhälften eine Reduzierung der Aktivitäten des *M. pronator teres* um etwa ein Viertel. Auch *Zipp* et al. [37] konnten bei einer lateralen Neigung von 10° bereits eine signifikante EMG-Reduktion feststellen.

Alternativ gestaltete Tastaturen allgemein

Bei alternativ gestalteten Tastaturen sind die bis hierher ausgeführten Gestaltungsvorschläge einzeln oder in verschiedenen Kombinationen (siehe Abbildung 15) und Ausprägungen verwirklicht; sie werden auch oft als „ergonomische Tastaturen“ bezeichnet. Solche „ergonomischen Tastaturen“ wurden in den Studien gut angenommen, besonders bei nicht zu extremen Veränderungen des herkömmlichen Designs [26; 27; 29; 38; 39]. Kaum ein Benutzer beurteilte die ergonomische Tastatur im Vergleich zur konventionellen als schlechter, die Rückmeldungen ergaben

sogar meist eine positivere Bewertung. Beobachtungen belegten, dass der Gebrauch von ergonomisch geformten Tastaturen öfter zu Handhaltungen im Neutralbereich führte. Bei Testpersonen mit Beschwerden reduzierten sich diese nach sechs Monaten Benutzung der alternativen Tastatur [38].

Lediglich in der Studie von *Swanson* et al. [35] wurde eine eher negative Stellungnahme zu ergonomischen Tastaturen gefunden. Hier wurden nur kleine Unterschiede beim Vergleich alternativer mit konventionellen Tastaturen festgestellt, weswegen in Frage gestellt wurde, ob sich der Aufwand einer ergonomischen Tastatur lohne.

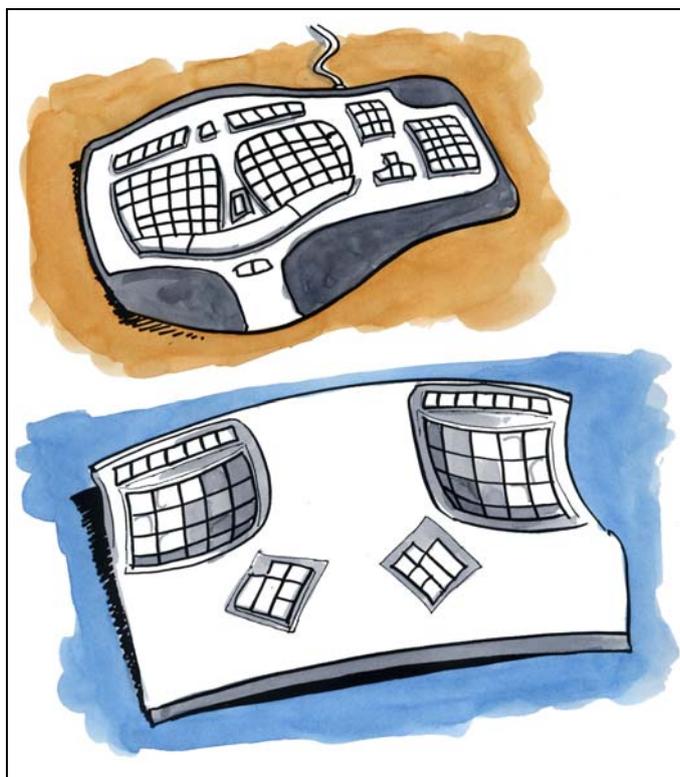


Abbildung 15:
Beispiele für Tastaturen mit kombinierten Gestaltungsvorschläge (Neigung lateral, muldenförmige Buchstabenblöcke, Auswärtsdrehung der Tastatur)

Performance

Eine Frage, die sich bei neuen Tastaturformen schnell stellt, ist, ob die Performance (Schreibgeschwindigkeit und -fehlerfreiheit) darunter leidet. Sind zu große Einbußen vorhanden, fehlt meist auch die Akzeptanz der Benutzer/-innen. Hier konnte mehrheitlich aufgezeigt werden, dass sich die Performance gar nicht veränderte [24; 25; 30] oder – zumindest nach einer kurzen Eingewöhnung von acht bis zehn Stunden – die alte Performance bis zu 90 % erreicht wurde [27; 35; 40]. Bei *Woods* und *Babski-Reeves* [28] zeigten die Testpersonen mit einer ergonomischen Tastatur teilweise



sogar bessere Leistungen. Extreme Designs verursachten allerdings höhere Performance-Einbußen und erfordern möglicherweise längere Eingewöhnungszeiten [27; 40].

Probleme mit alternativ gestalteten Tastaturen

Ein größerer Tendon Travel¹ wird als eine Ursache für biomechanische Belastungen an den Sehnen, deren Hüllen oder den angrenzenden Nerven diskutiert. Bei einer positiven Tastaturneigung von 25° und einer lateralen Neigung der Tastaturhälften von 15° oder aber bei 0° sagittaler und dafür großer lateralen Neigung von 30° konnte festgestellt werden, dass der Tendon Travel minimal ist [41]. Allerdings wurden markante individuelle Unterschiede beobachtet. Auch *Treaster* und *Marras* [42] wiesen auf diese Unterschiede hin. Bei negativen Tastaturneigungen wurde signifikant mehr Tendon Travel gemessen als bei positiven Neigungen.

Inwieweit dieser Effekt der negativen Tastaturneigung im Vergleich zur besseren Neutralstellung ins Gewicht fällt, ist unklar. Zudem stellt sich die Frage, was der Tendon Travel tatsächlich aussagt und wie genau er gemessen werden kann. Ebenfalls schränken die stark individuellen Unterschiede die Aussagekraft ein.

Alternativ gestaltete Tastaturen sind vor allem darauf ausgerichtet, Verbesserungen in Hand- und Unterarmhaltung zu erreichen. Es muss aber auch darauf geachtet werden, dass für die restliche Körperhaltung keine negativen Effekte auftreten. Ein Beispiel ist eine Tastatur mit negativer Neigung. Es wurde nachgewiesen, dass eine solche Tastatur positive Effekte auf die Extension des Handgelenks hat. Wird für die negative Neigung aber lediglich die Tastatur vorne angehoben, dann wird ebenfalls eine höhere Position der Handgelenke erforderlich. Damit die Ellbogen und die Handgelenke auf einer Höhe liegen, muss somit entweder der Tisch tiefer oder der Stuhl höher gestellt werden. Bei ersterer Lösung liegen dann aber die Maus oder andere Eingabegeräte zu tief und die Tischhöhe wird für weitere Tätigkeiten wie Schreiben ebenfalls unkomfortabel. Wird stattdessen der Stuhl höher gestellt, kann

¹ Zurückgelegter Weg der Sehnen von Muskeln (z. B. *M. flexor digitorum profundus* und *superficialis*) relativ zu ihren Hüllen, den Sehnenscheiden



die Sitzergonomie ohne weitere Maßnahmen, z. B. Fußbank, nicht mehr eingehalten werden.

Auch die Nutzung eines zusätzlichen Computertisches ist problematisch. Falls dieser Tisch separat steht, erfordert er den Arbeitsplatzwechsel für verschiedene Tätigkeiten und die Veränderung der jeweiligen Stuhleinstellung; gleichzeitig bleibt die oben beschriebene Problematik, wenn am Computerarbeitsplatz neben der Tastatur weitere Eingabemittel benutzt werden. Die Anbringung eines Tastaturtisches, z. B. als Auszug am Schreibtisch, behindert oft die Beinfreiheit, erhöht den Abstand zum Bildschirm und kann die Möglichkeiten der Hand-/Armauflage einschränken (Abbildung 16).

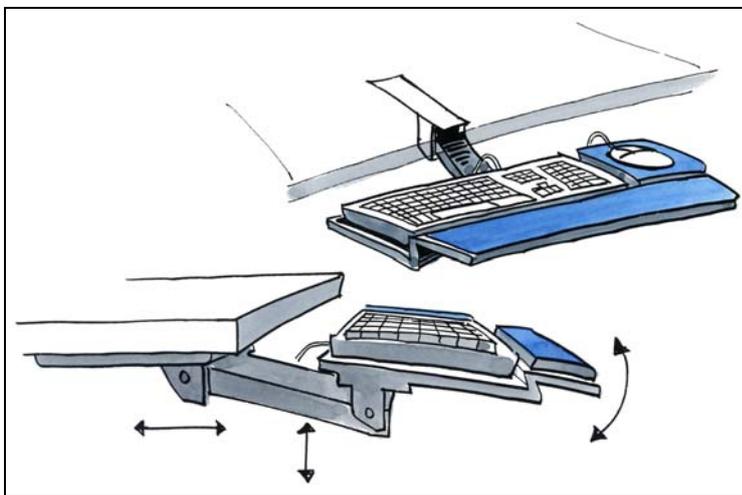


Abbildung 16:
Tastaturtische in Form von
Auszügen und Halterungen am
Schreibtisch

Zusätzlich erfordert eine ergonomisch geformte Tastatur eine exakt symmetrische Positionierung der Benutzerin/des Benutzers vor dem Eingabemittel. Dies kann die Sitzvariabilität einschränken [13].

Weitere Probleme können eventuell bei der Kombination mit anderen Eingabemitteln auftreten. Nach den beschriebenen Optimierungsvorschlägen gestaltete Tastaturen sind oft breiter als konventionelle, was zur Folge hat, dass die Maus weiter seitlich benutzt werden muss, also mit einer größeren Arm-Abduktion. Auf dieses Thema wird bei der Abhandlung über die Maus (Abschnitt 3.1.2, Seite 27) näher eingegangen. Zu vermerken wäre an dieser Stelle nur, dass es in diesem Zusammenhang sinnvoll erscheint, den numerischen Block einer Tastatur zu separieren und dadurch deren Breite zu reduzieren.



Krueger [13] weist darauf hin, dass das Umlernen auf die neue Haltung, die eine alternativ geformte Tastatur mit sich bringt, anfangs muskuloskeletale Beschwerden hervorrufen kann, die eigentlich gerade vermieden oder vermindert werden sollen. In diesem Fall wäre abzuwägen, was auf lange Sicht hin mehr Erfolg bringt.

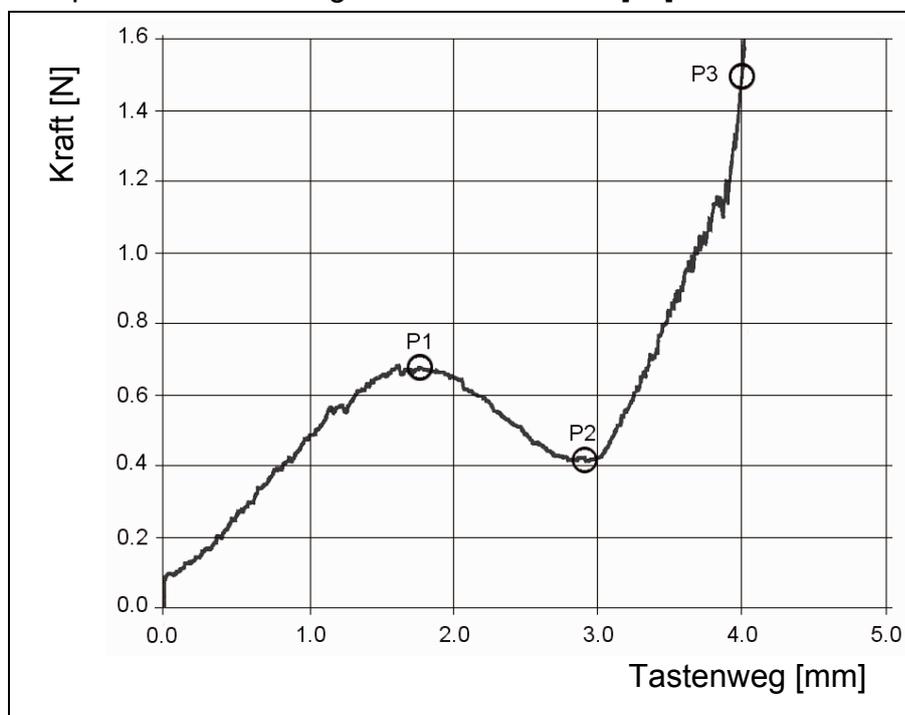
Es ist immer auf die individuellen Bedürfnisse zu achten. Eine alternativ geformte Tastatur ist besonders da sinnvoll, wo viel Dateneingabe mittels Tastatur erfolgt und im Zehn-Finger-System geschrieben wird. Da Benutzer/-innen, die nicht im Zehn-Finger-System schreiben, oft Tasten der linken Tastaturhälfte mit der rechten Hand betätigen und umgekehrt, müssen bei ergonomischen Tastaturen, die meist größer und z. B. bei lateralen Neigungen in der Mitte erhöht sind, längere Wege überbrückt werden. Außerdem orientieren sich solche Benutzer/-innen nicht an der Grundzeile der Tastatur und daher treten eher weniger ungünstige Handhaltungen unter muskulärer Anspannung auf. Praktisch alle Studien untersuchten Testpersonen, die das Zehn-Finger-System beherrschten, also kann für andere Tippgewohnheiten keine Aussage abgeleitet werden.

Kraftaufwand und Schreibschnelligkeit

Einige Studien haben sich mit dem Kraftaufwand, mit dem auf einer Tastatur getippt wird, beschäftigt. Mehr Kraftaufwand geht einher mit größeren Muskelaktivitäten und bedeutet bei länger anhaltenden Arbeiten auch mehr Belastung. *Cail* und *Aptel* [33] maßen bei der Bedienung einer Tastatur in den Hand-/Finger-Flexoren je nach Arbeit 13 bis 24 % MVC und bei den Extensoren 18 bis 27 % MVC. Es wurde festgestellt, dass die ausgeübte Kraft weit größer ausfiel als notwendig [7; 43]. Bei manipulierten Tastaturen mit unterschiedlich hohen Auslösekräften (0,28 N, 0,56 N, 0,72 N, 0,83 N) (vgl. Abbildung 5, Abschnitt 2.3.1, Seite 17) beurteilten die Testpersonen diejenigen, bei denen ein größerer Kraftaufwand erforderlich war, als unbequem. Bei sehr niedrigen Auslösekräften wurde allerdings festgestellt, dass sie längere Eingewöhnungszeit brauchten [43]. Zudem können die Finger in den Schreibpausen nicht auf der Tastatur ruhen, weil die Gefahr einer unabsichtlichen Tastenauslösung besteht. Die Finger-Extensoren müssen also die ganze Zeit unter Anspannung sein, was wiederum zu erheblich höheren Belastungen führt [31].

Eine genauere Betrachtung des Tastenverhaltens bezieht die Charakteristika des Kraft-Weg-Verlaufs ein. Dabei werden innerhalb eines Kraft-Weg-Diagramms drei Punkte benannt (Abbildung 17): P1 ist die minimale Kraft, die benötigt wird, um die Taste zu drücken, P2 die geringste Kraft im Verlauf des Anschlags nach P1, P3 schließlich steht für den gesamten Tastenweg. Zumindest bei Testpersonen, die bereits Beschwerden hatten (Hand-Parästhesie²), konnte deren Verbesserung beobachtet werden, wenn der Weg bis P1 lang (1,69 mm) und die Steigung der o. g. Kurve von P2 nach P3 am Ende der Tastenbewegung (Steifigkeit) nicht zu steil war. Die nachweisbaren Effekte waren jedoch relativ gering [44].

Abbildung 17:
Beispielhafte Kraft-Weg-Kurve einer Taste [44]



Vermehrte Muskelaktivitäten wurden nicht nur bei Tastaturen mit hohem erforderlichem Kraftaufwand gemessen, sondern auch beim Tippen mit forcierter Geschwindigkeit, wobei sogar noch höhere Werte beobachtet wurden [6]. Zudem wurden beim schnellen Schreiben entsprechend einer höheren Repetitivität mehr Bewegungen und ein vermehrter Tendon Travel gemessen [41].

² Eine Fehlempfindung: Im eigentlichen Sinne betrifft diese den Hautsinn in Form von Kribbeln, Pelzigkeitsgefühl oder Ameisenlaufen.



3.2.3 Literatur zur Tastatur – Zusammenfassung

Fehlhaltungen bzw. Abweichungen von der Neutralposition, repetitive Bewegungen mit entsprechendem Kraftaufwand und statische Belastungen sind Risikofaktoren für gesundheitliche Probleme bei der Benutzung einer Tastatur [5; 34]. Die ausgewertete Literatur weist darauf hin, dass ergonomisch geformte Tastaturen Verbesserungen bringen können.

Tastaturen mit negativer Neigung von ca. -7° , Auswärtsdrehung der Tastaturhälften von ca. 25° und einer lateralen Neigung scheinen Belastungen zu verringern. Diese Empfehlungen gelten besonders für Personen, die mit dem Zehn-Finger-System arbeiten und viel mit der Tastatur schreiben, z. B. bei Textverarbeitung und Dateneingabe.

Bei Tastaturnutzern mit Beschwerden kann eventuell eine Veränderung des Kraft-Weg-Verhaltens der Tasten eine Besserung bringen, zudem sollte unter Umständen die Schreibgeschwindigkeit reduziert werden.

3.2.4 Literatur zur Tastatur – Diskussion

In den europäischen Normen wird eine Tastaturneigung von 0 bis 15° empfohlen. Anhand der gesichteten Literatur scheint aber eine zum Bildschirm hin leicht negativ geneigte Tastatur sinnvoller zu sein. Allerdings müsste noch eine Lösung gefunden werden, wie diese Anforderung so umgesetzt werden kann, dass keine negativen Einflüsse auf die restliche Arbeitshaltung auftreten (siehe Abschnitt 4.2.1, Seite 73).

Weitere Widersprüche zu den Angaben in den Normen wurden nicht gefunden, wengleich der empfohlene Bereich zum Tastenwiderstand von 0,25 bis 1,5 N recht weit gesteckt erscheint. Testpersonen bewerteten nämlich schon Werte zwischen 0,28 und 0,83 N mit unterschiedlichem Komfort/Diskomfort [43]. Dabei scheint das Verhalten der Tasten, ob es sich z. B. um eine Tastatur mit Schnappfunktion oder mit Rampenfunktion handelt, ebenfalls eine Rolle zu spielen. Zu diesem Thema konnten jedoch in der Literaturrecherche bezogen auf die letzten zwanzig Jahre keine neueren geeigneten Studien ermittelt werden.



3.3 Literatur zur Maus

3.3.1 Bewertung der Studien zur Maus

In Tabelle 9 ist die Anzahl der bearbeiteten und unterschiedlich bewerteten Artikel angegeben. Die Bewertungskriterien wurden in Abschnitt 2.1 (Seite 11) erläutert. Kurzinhalte der einzelnen Studien sind im Anhang B (Seite 123 ff.) zu finden.

Tabelle 9:
Übersicht der Literatur zur Maus

Bewertung	1	2	3	Summe
Anzahl	4	21	7	35

3.3.2 Maus – Auswertung der Literatur

Laut Woods et al. [3] gebrauchen 97 % der Computernutzer/-innen in Abhängigkeit von ihrem Arbeitsbereich während etwa 25 % [45] bis zu über 33 % [46; 47] der Arbeitszeit die Maus. Angaben über die Abweichungen der Haltungen der Hand und des Arms von der Neutralstellung fielen in den verschiedenen Studien sehr unterschiedlich aus, und die individuellen Unterschiede wurden immer wieder hervorgehoben [48 bis 55]:

- Hand-Extension: 15 bis 30°
- Hand-Ulnardeviation: 5 bis 18°
- Oberarm-Flexion: bis 30° im Schultergelenk
- Oberarm-Abduktion: bis 30°, teils sogar über 40° im Schultergelenk
- Oberarm-Außenrotation: 5 bis 45°

Im Vergleich zur Tastatur erfordert die Mausbenutzung eine höhere Oberarm-Abduktion und -Auswärtsrotation. Dies insbesondere dann, wenn die Maus in Kombination mit einer Tastatur verwendet wird: Der alphanumerische Bereich einer konventionellen Tastatur ist 283 mm lang. Mit einem numerischen Block von 150 mm, der meist mit der Tastatur kombiniert ist, vergrößert sie sich auf 433 mm. Liegt die Maus rechts von der Tastatur, ergibt sich bei einer durchschnittlichen Schulterbreite



von knapp 400 mm bei Männern und 350 mm bei Frauen automatisch eine Zwangshaltung in einer Oberarm-Abduktion meist verbunden mit einer Oberarm-Außenrotation [56].

Um die Hand- und Armhaltung bei einer Mausbenutzung zu verbessern, sind verschiedene Interventionen möglich und in den recherchierten Studien untersucht worden:

- alternatives Mausdesign
- verbesserte Mausposition
- Mausbenutzung wechselweise mit der rechten und linken Hand
- wechselnde Arbeitstechniken

Im Folgenden werden zunächst diese Punkte erläutert, um dann auf weitere Themenfelder einzugehen, die beim Versuch der Belastungsreduktion für die obere Extremität Berücksichtigung verdienen.

Alternatives Mausdesign

Allgemeines Ziel von alternativen Mausdesigns ist es, eine annähernd neutrale Hand- und Armhaltung zu ermöglichen und durch Größe und Form der Maus eine angenehme Bedienung und eine entspannte Ruhestellung der Hand und Finger zwischen den Bedienungsphasen zu begünstigen. Dabei sollen der Handballen und der Unterarm auf der Tischfläche ruhen können (Abbildung 18).



Abbildung 18:
Entspannte Ruhestellung
der Finger, der Hand
und des Unterarms

Zur anthropometrischen Anpassung der Maus an die Handgröße gibt es Mäuse in verschiedenen Größen, um durch die Form eine bequeme Auflage der Handfläche auf der Maus zu erzielen. Für größere Hände bzw. längere Hände und Finger scheint



es nützlich zu sein, Mäuse in unterschiedlichen Größen oder in der Länge verstellbar anzubieten, sodass die Finger aus einer entspannten Lage die Tasten bedienen können. Beispiele derartig gestalteter Mäuse sind in Abbildung 19 dargestellt.

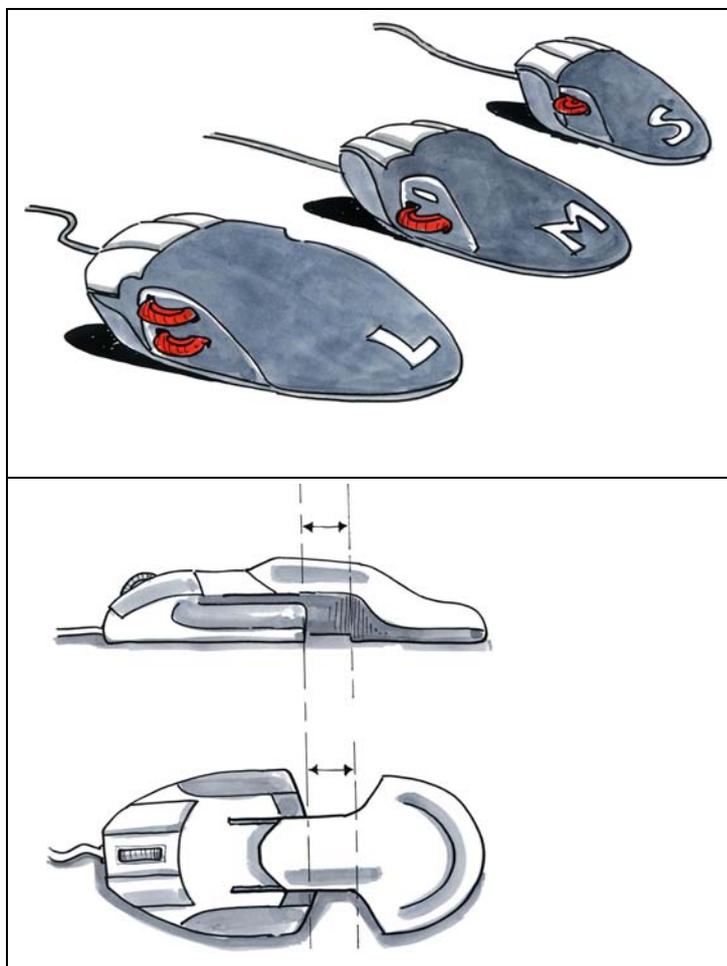


Abbildung 19:
Oben: Mäuse in verschiedenen
Größen, unten: verstellbare
Maus

Untersuchungen mit einer Maus, deren Design einem Joystick ähnlich sieht (Abbildung 20, Seite 44), konnten Verbesserungen bei Beschwerden im Nacken-, Schulter-, Unterarm- und Handbereich nachweisen [57; 58]. Auch bei gesunden Testpersonen wurden im Vergleich zur konventionellen Maus geringere Muskelaktivitäten, eine neutralere Haltung und häufigere Mikropausen (durch entspannte Ruhestellung) gemessen [59; 60].

Ein weiteres alternatives Mausdesign ist die Form der Griffelmaus (Abbildung 21, Seite 44). Die Betätigung dieses Eingabemittels und die damit verbundene Handhaltung sind mit der eines konventionellen Schreibstiftes vergleichbar. Unter Ausnutzung der feinmotorischen Fähigkeiten der Hand war präzises Arbeiten möglich

und EMG-Messwerte belegten im Vergleich zur konventionellen Maus eine niedrigere muskuläre Beanspruchung [61].

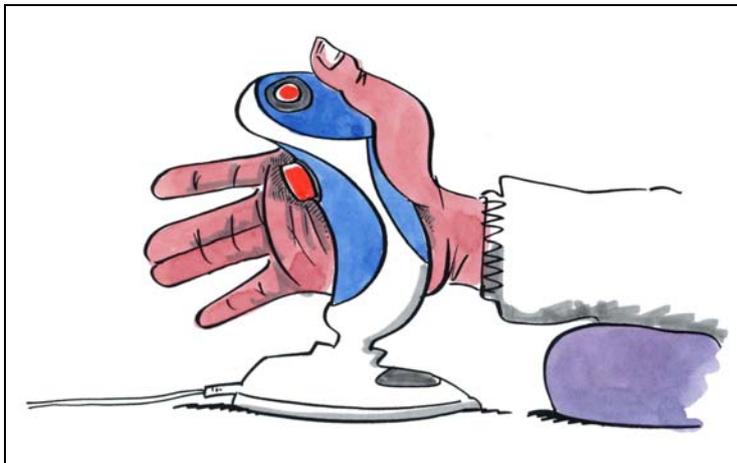
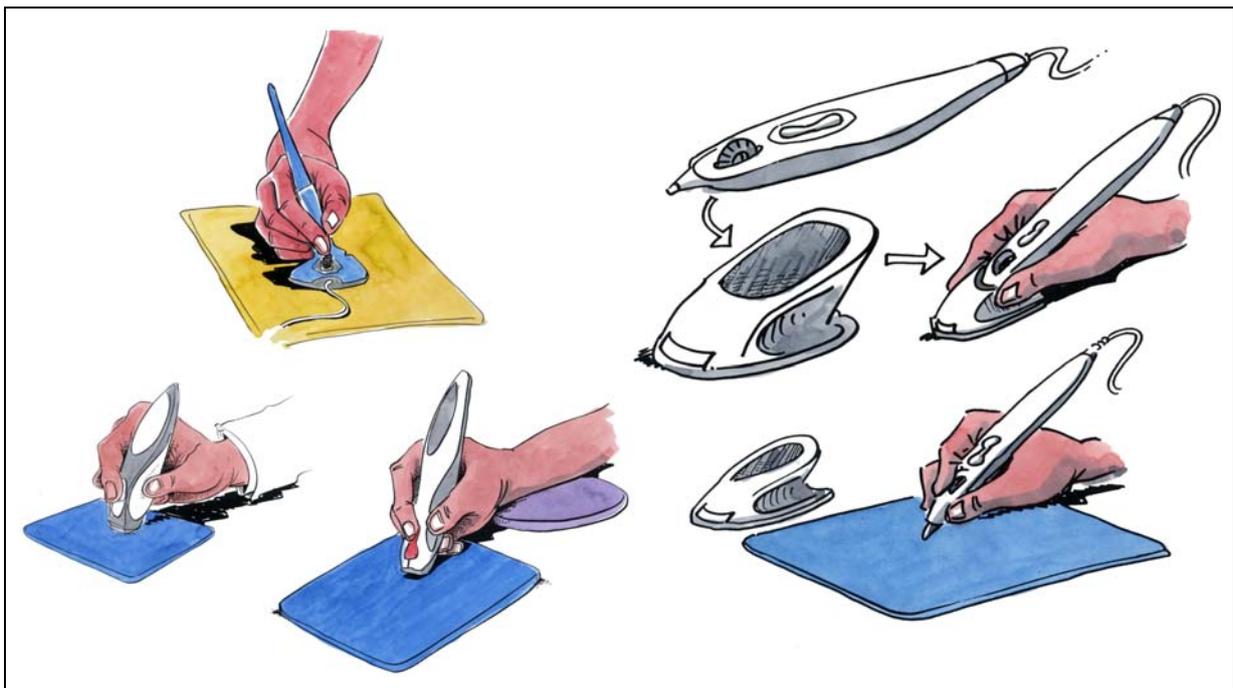


Abbildung 20:
Joystickähnliche Maus

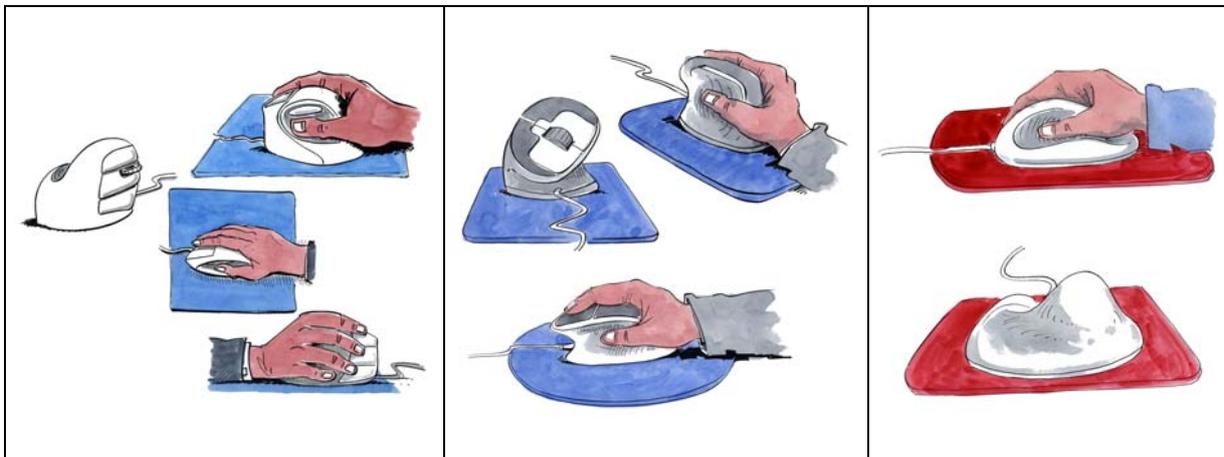
Abbildung 21:
Verschiedene Formen von Griffelmäusen



Weitere Mausformen, mit denen positive Effekte auf die Haltung und Muskelaktivitäten nachgewiesen werden konnten, waren im Vergleich zu konventionellen Mausgehäusen eher größer, der Handform – teils individuell nach Abdruck – angepasst und nach außen (ulnar) abfallend, um die Pronation im Unterarm zu verringern [51; 62]. In Abbildung 22 sind Beispiele für derartige Mausdesigns dargestellt.



Abbildung 22:
Drei Beispiele von alternativen Mausdesigns



Ersichtlich sind hier Mulden und Einbuchtungen für die Finger, um der Hand einen besseren Halt zu gewähren. Aus den vorliegenden Studien über verschiedene Mausdesigns ist es allerdings nicht möglich, die Empfehlung für eine zu bevorzugende Form abzuleiten. Vielmehr zeigen die Ausführungen zu den Varianten des ergonomischen Mausdesigns spezifische Vor- und Nachteile auf, die im Einzelfall abgewägt werden müssen.

Neben der Mausform üben auch die Anordnung der Tasten und die Richtung des Tastenweges Einfluss auf die Fingerhaltung, -bewegung und die einhergehenden Muskelaktivitäten aus [63; 64]. Aus den Studien konnten jedoch keine eindeutigen Empfehlungen zur Tastengestaltung eruiert werden.

Nachteil aller „ergonomisch geformten“ Mäuse ist, dass sie nur einseitig gebraucht werden können und somit die Möglichkeit entfällt, diese abwechselnd mit der rechten und linken Hand zu betätigen.

Performance

Je außergewöhnlicher ein alternatives Mausdesign ausfällt, desto mehr Einbußen wurden in der Schnelligkeit und Fehlerfreiheit festgestellt. *Hedge* et al. [65] registrierten mit der Maus in Abbildung 23 (Seite 46) bei den Aufgaben Auswählen, Anklicken und Scrollen eine Reduktion der Schnelligkeit um 19 %. Allerdings dauerten die



Tests in dieser Studie nur wenige Minuten. Es ist anzunehmen, dass sich die Performance nach einer angemessenen Eingewöhnungszeit deutlich verbessern könnte.

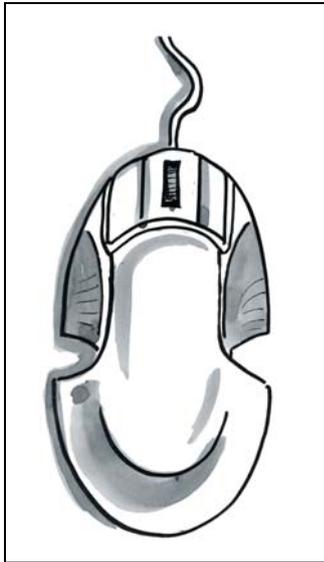


Abbildung 23:
Getestete Maus aus *Hedge et al.* [65]

Die joystickähnliche Maus wurde *Gustafsson und Hagberg* [60] zufolge nicht sehr gut angenommen, da nach einem halben Tag Arbeit (Textkorrekturen) mit dieser die Produktivität um fast ein Viertel kleiner als üblich war. Vorteilhafter in Bezug auf die Performance bei den Aufgaben Auswählen, Anklicken und mit gehaltener Taste Ziehen (click, point and drag) waren die Ergebnisse bei *Aaras et al.* [58]. Den Testpersonen unterliefen nach sechs Monaten mit der Joystick-Maus nur noch geringfügig (2,5 %) mehr Fehler als mit einer konventionellen Maus und sie waren nur noch minimal langsamer.

Bei der Griffelmaus zeigten die Testpersonen dank der ähnlichen und vertrauten Haltung und Bewegung zu einem konventionellen Schreibstift beim Auswählen und Anklicken bereits am zweiten Tag eine gleiche bis bessere Performance im Vergleich zur Nutzung einer herkömmlichen Maus [61].

Verbesserte Mausposition

Im Hinblick auf die biomechanischen Belastungsfaktoren scheint die Position der Maus bzw. ihre Anordnung im Arbeitsplatzkonzept wichtiger als ihr Design zu sein. In einer Untersuchung von 1 000 Testpersonen stellten *Dennerlein und Johnson* [66] fest, dass 92 % die Maus rechts und 4 % links benutzten. Bei 78 % lag die Maus bis zu 22 cm rechts von der Tastatur entfernt, bei 14 % weiter als 22 cm. 79 % aller



Testpersonen benutzten die Maus im Bereich zwischen Tischkante und Bildschirm auf Höhe der Tastatur, 13 % oberhalb (in Richtung Bildschirm) und 8 % unterhalb der Tastatur (in Richtung Tischkante).

Belastungen in Schulter und Arm können durch eine möglichst auf Schulterbreite ausgerichtete Positionierung der Maus reduziert werden. Gerade bei Verwendung einer ergonomisch geformten Tastatur, die oft breiter sind als solche mit konventionellem Design (vgl. Abschnitt 3.2.2, Seite 31), kann eine Mauspositionierung auf Schulterbreite meist nicht realisiert werden. Abhilfe können je nach äußeren Gegebenheiten und Arbeitsaufgaben Tastaturen ohne oder mit separatem numerischem Block schaffen. Durch diese empfehlenswerte Maßnahme wird zum einen die Verteilung der Buchstabentasten auf der Tastatur symmetrischer und zum anderen die Breite der Tastatur verringert, womit die Maus in den günstigeren Greif- und Bewegungsraum gerückt werden kann [48]. Alternativ zu dieser Maßnahme kann die Maus auch einfach mit der linken Hand benutzt werden (siehe Mausbenutzung wechselseitig mit der rechten und linken Hand, Seite 49).

Abbildung 24 gibt einen Eindruck eines Arbeitsplatzes, an dem die oben genannten Möglichkeiten verwirklicht sind, wobei natürlich genauso gut eine rechts- und links-händig verwendbare Maus von einer Seite zur anderen gewechselt werden kann.

Abbildung 24:
Arbeitsplatz mit auswärts gedrehter, flacher Tastatur, Mausnutzung beidseitig möglich und mit separatem Nummernpad





Bei Aufgaben mit vorwiegendem Mausgebrauch ist zu überlegen, die Tastatur aus dem günstigen Arbeitsbereich vor dem Bildschirm zu entfernen und z. B. zur Seite oder in Richtung Bildschirm zu schieben, um die Maus auf Schulterbreite zu platzieren und diese ohne erhebliche Flexion und/oder Abduktion sowie Außenrotation im Schultergelenk benutzen zu können. Tatsächlich konnten in einer solchen Anordnung niedrigere Werte für die Muskelaktivität gemessen werden [67]. Des Weiteren sollte die Maus so weit von der Tischkante platziert werden, dass der Unterarm auf der Arbeitsplatte aufliegen kann [68] (siehe Abschnitt 3.6, Seite 65).

Eine andere Möglichkeit für eine kontrollierte Positionierung der Maus ist die Verwendung eines Maustisches, der beispielsweise an der Tischkante befestigt und individuell eingestellt werden kann (Abbildung 25).

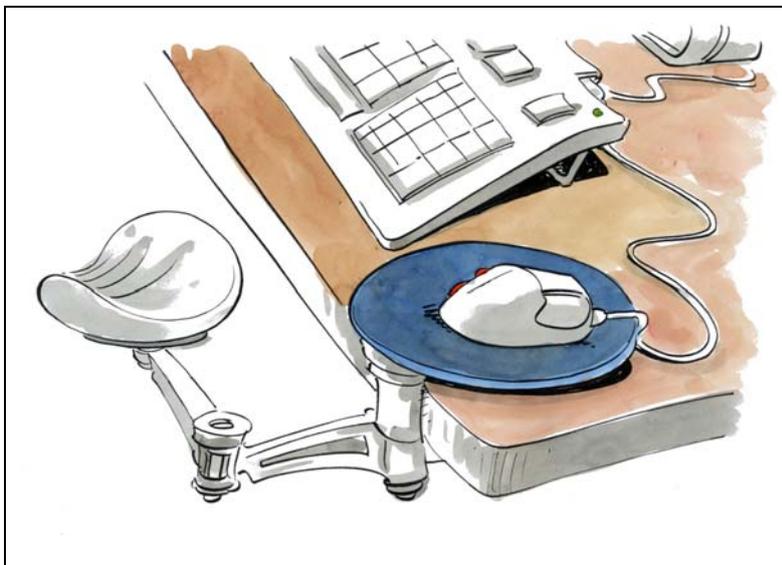


Abbildung 25:
Beispiel eines Maustisches

Mierdel [69] untersuchte einen ähnlichen Maustisch wie in Abbildung 25, der aber auch tiefer als die Tischplatte positioniert werden konnte. Die Testpersonen konnten dessen Höhe und Neigung ohne Vorgaben nach Wunsch einstellen. Dabei bevorzugten sie im Schnitt eine Höhe von $7,5 \pm 3$ cm unter der Arbeitstischhöhe, sodass der Winkel zwischen Ober- und Unterarm bei 95 bis 155° lag, eine seitliche Neigung von $3 \pm 5^\circ$ in ulnare Richtung und eine negative Neigung von $4 \pm 6^\circ$ (zum Bildschirm hin). Diese individuell eingestellte Bedienebene für die Maus wurde von allen Testpersonen als sehr angenehm empfunden. Probleme traten teilweise wegen der räumlichen Einschränkung am Arbeitsplatz durch den zusätzlichen Maustisch auf. So kann es beispielsweise zu Behinderungen beim Aufstehen und Verlassen des



Arbeitsplatzes und zu Kollisionen des Maustisches mit der Armlehne des Stuhls kommen. Empfohlen wurde der Maustisch in Verbindung mit einer Stuhlarmlehne zur Unterstützung des Unterarms.

Wechselweise Mausbenutzung mit der rechten und linken Hand

Die meisten Mausbenutzer/-innen arbeiten mit der Maus auf der rechten Seite [3; 66], obwohl dies nur bei ca. zwei Drittel die dominante Hand [49] ist. Ein Wechsel der Maus auf die linke Seite bringt mehrere Vorteile mit sich. Bei einer Tastatur mit integriertem numerischem Block, der sich auf der rechten Seite der Tastatur befindet, ist das Verschieben der Tastatur nach rechts sinnvoll, um das überwiegend benutzte Buchstabenfeld vor dem Körper zu zentrieren. Wird die Maus mit der linken Hand benutzt, kann die Maus nun näher an die Körpermitte herangeführt werden, wodurch ihre Benutzung eine geringere Oberarm-Abduktion und -Außenrotation erforderlich macht. Eine abwechselnde Nutzung der Maus mit der rechten und der linken Hand bewirkt eine beidseitige Verteilung der Belastung auf das Hand-Arm-Schulter-System.

Delisle et al. [53] untersuchten Testpersonen, die für einen Monat die Mausnutzung von der rechten auf die linke Hand wechselten, und konnten aufzeigen, dass sich dadurch Arm-Abduktion und -Flexion reduzierten. Allerdings wurde anfangs die Performance beeinträchtigt, konnte aber durch Gewöhnung verbessert werden. Laut den Ergebnissen von *Delisle et al.* [53] waren die Testpersonen nach einem Monat mit der linken Hand nur noch 8 % langsamer als mit der rechten.

Ackland und Hendrie [70] beobachteten, dass die Testpersonen mit der gewohnten Hand zu Beginn 61 % schneller und 51 % genauer arbeiteten als mit links, nach 15 x 30 Minuten Üben verbesserte sich jedoch die Performance im Zeitraum von drei Wochen auf ein akzeptables Niveau. Bei Mausbenutzern, bei denen die linke Hand dominant war, die aber trotzdem die Maus mit rechts bedienten, erfolgte der Wechsel zudem mit weniger Performance-Einbußen [71; 72]. Praktisch ohne Probleme konnten von Beginn an grob motorische Bewegungen – wie Scrollen oder auf große Felder klicken – mit der linken Hand ausgeführt werden [73].



Arbeitstechnik

Eine gute Arbeitstechnik ist gekennzeichnet durch hohe Zeitanteile, die in einer nahezu neutralen Körperhaltung verbracht werden, angemessene und wechselnde Belastung der Muskeln, die sich in überwiegend niedrigen Muskelaktivitäten und günstiger Verteilung von Pausen einzelner Muskeln ausdrückt. Ein Unterschied zwischen verschiedenen Arbeitstechniken stellt die Art der Mausbewegung dar [52]. Wurde die Maus aus dem ganzen Arm heraus bewegt, konnten vermehrte Handgelenk-Extension und Trapezmuskelaktivitäten gemessen werden. Ermüdungen wurden hier besonders proximal festgestellt. Eine andere Arbeitsweise ist eine Mausbewegung lediglich aus dem Handgelenk mit unterstütztem Unterarm. Dabei fiel die Muskelaktivität des *M. trapezius* geringer aus, jedoch wurden die seitlich auf die Maus wirkenden Kräfte größer. Ermüdungen wurden hier insbesondere distal registriert. Diese Arbeitsmethode erwies sich als etwas langsamer. Dennoch wurde eher eine Arbeitsweise mit unterstütztem Unterarm empfohlen [52]. Weiter sollte darauf geachtet werden, dass die Maus während der Bedienung, z. B. zur Repositionierung, nicht angehoben wird [52].

Eine gute Arbeitstechnik für alle Mausbenutzer/-innen kann nicht allgemeingültig formuliert werden. *Woods et al.* [3] weisen in diesem Zusammenhang ausdrücklich auf die individuell unterschiedlichen Arbeitsstile hin, die zudem abhängig von der jeweiligen Tätigkeit sind. Zu diskutieren ist, ob sich abwechselnde Arbeitsweisen – z. B. alternierend die Maus mal mehr aus dem Unterarm, mal mehr aus dem Handgelenk heraus zu bewegen oder/und eine wechselseitige Bedienung der Maus mit rechts und links – eine sinnvolle präventive Maßnahme sein könnte.

Kraftaufwand

Ein weiterer Belastungsfaktor ist der bei der Mausbenutzung notwendige Kraftaufwand: Einerseits wird Kraft seitlich auf die Maus ausgeübt, um sie zu bewegen, andererseits wird Kraft zur Bedienung der Tasten benötigt. Die Tastenbetätigung erfordert zwar lediglich ca. 0,5 N, knapp 1 % der gemessenen maximalen, auf die Maus willentlich ausgeübten Kraft [45], allerdings handelt es sich oft um eine sich monoton wiederholende Bewegung und sowohl die Anordnung der Tasten als auch die Richtung der Betätigung haben Einfluss auf muskuläre Beanspruchung [63; 64]. Eine



vorwiegend positive Lösung wurde diesbezüglich allerdings nicht gefunden, vielmehr zeigten sich die Resultate verschiedener Studien heterogen.

Für die auf die Seite der Maus aufgewendete Kraft kann die Muskelaktivität verringert werden, wenn die Maus eine kleine Aktivierungskraft erfordert, wenn sie also „gut läuft“. In einer Studie konnte für eine Maus mit geringer Aktivierungskraft eine durchschnittlich niedrigere Muskelaktivität gemessen werden [62]. Weitere positive Einflüsse im Sinne einer Verringerung von Muskelaktivitäten können die Oberflächenbeschaffenheit der Maus und deren Form (z. B. seitliche Einbuchtungen) haben [63]. Dennoch betonten *Cail* und *Aptel* [33], dass die Kraftaufwendung unabhängig von den genannten Einflüssen individuell sehr stark variiert.

Einheitliche Empfehlungen zu Richtwerten von Aktivierungskräften, Tastenanordnungen oder deren Betätigungsrichtung und detaillierte Konturenbeschreibungen der Mäuse konnten in dem vorliegenden Literaturmaterial nicht gefunden werden.

Software

Die Belastung durch den Mausgebrauch kann verringert werden, indem die Maus günstig programmiert wird. Oft ist es z. B. möglich, den Doppelklick durch einen Einfachklick mit der rechten Maustaste oder Ähnliches zu ersetzen. Bei Aufgaben, die vermehrtes Doppelklicken erfordern, könnte solch eine Funktionsumstellung durchaus sinnvoll sein. Es gibt auch Mäuse, die durch zusätzliche Software z. B. das besonders belastende „Dragging“, also das Ziehen bei gehaltener Maustaste, mit einer weiteren Taste ersetzen können [63].

Dennerlein und *Yang* [74] untersuchten den Einfluss einer Software, die eine elektromagnetische Kraft auf die Maus ausübte. Der Cursor wurde auf dem Weg zum Zielfeld erst beschleunigt, um dann in der Nähe des Zielfeldes verlangsamt und manipuliert zu werden, um das Ziel leichter zu treffen. Bei Benutzung dieser Software konnten im Vergleich zur normalen Maus kleinerer Diskomfort und weniger Ermüdung festgestellt werden. Zudem verringerte sich die Fehlerquote um 43 % und die Aufgaben wurden bis zu 25 % schneller gelöst. Allerdings blieb die Frage, ob solch ein Programm in die alltäglichen Arbeiten sinnvoll integriert werden kann, ungeklärt.



Neuere Tastaturen weisen Tasten mit zusätzlichen Funktionen auf, die teilweise den Griff zur Maus ersetzen können [36]. Außerdem gibt es Software, die es erlaubt, die Maus fast vollständig zu ersetzen [75].

3.3.3 Literatur zur Maus – Zusammenfassung

Ein intensiver Mausgebrauch und eine der Handform schlecht angepasste Mausform, die in den meisten Fällen notwendige Pronationshaltung und eine erhöhte Arm-Abduktion und -Auswärtsrotation können Beschwerden verursachen. Die Benutzung eines alternativen Mausdesigns, das eine neutralere Hand- und Unterarmhaltung ermöglicht, kann einem Teil dieser Probleme entgegenwirken. Über die Positionierung der Maus im Arbeitsbereich etwa auf Schulterbreite kann die Arm-Abduktion und -Auswärtsrotation herabgesetzt werden. Die Verwendung einer Tastatur ohne numerischen Block oder der Wechsel der Maus auf die linke Seite erleichtert die Umsetzung dieser Maßnahme. Ebenfalls sollte die Arbeitstechnik unter Berücksichtigung der Arbeitsaufgabe wie oben beschrieben optimiert und eventuell mit entsprechender Software auf eine Reduzierung des Mausgebrauchs geachtet werden.

3.3.4 Literatur zur Maus – Diskussion

Teilweise können die Studienergebnisse die sehr allgemein gehaltenen Empfehlungen der europäischen Normen mit konformen und konkreten Lösungsvorschlägen ergänzen. Dieser Umstand kann beispielhaft an der Arm-Abduktion erläutert werden. In der Norm heißt es lediglich, dass die Arm-Abduktion möglichst gering gehalten werden soll. Konkrete Lösungen, wie sie in den vorhergehenden Abschnitten angegeben wurden, werden allerdings nicht aufgezeigt. In den Normen kann zwar nachgelesen werden, dass bei gleichzeitigem Mausgebrauch die Tastatur möglichst kurz sein sollte, und es wird darauf hingewiesen, dass eine Maus für die Benutzung mit der rechten und der linken Hand zur Verfügung stehen muss, eine Verbindung zur gewünschten Vermeidung großer Arm-Abduktionen wird allerdings nicht hergestellt.

Eine Diskrepanz kann zwischen der Annahme in den Normen, dass die Fingerkraft 1 % MVC nicht überschreitet und den jeweils gemessenen Werten in den Studien festgestellt werden. Hier wurden für die Finger-Flexoren Werte zwischen 2 und 19 % MVC und für die Finger-Extensoren zwischen 3 und 17 % MVC ermittelt. Diese teils



hohen aufgewendeten Kräfte waren größer als die für die Mausbetätigung tatsächlich notwendige Kraft. Zu beachten ist allerdings, wie die MVC ermittelt wurde. In den meisten Studien wurde für jeden zu untersuchenden Muskel die von ihm vollführte Bewegung mit maximal willentlicher Kraftanstrengung gemessen. Ein anderer MVC-ähnlicher Referenzwert kann gemessen werden, indem das EMG abgeleitet wird, während eine maximale Kraft auf die Maus (die Tasten oder seitlich) ausgeübt wird. Diese verschiedenen Messverfahren führen zu unterschiedlich hohen MVC-Werten und könnten die beschriebenen Diskrepanzen und Spannweiten zwischen den Messwerten erklären. Daher erscheint es sinnvoll, die MVC und ihre Ermittlung in den Normen zu spezifizieren.

3.4 Literatur zum Trackball

3.4.1 Bewertung der Studien zum Trackball

Nachfolgend ist die Anzahl der bearbeiteten und unterschiedlich bewerteten Artikel angegeben. Die Bewertungskriterien wurden in Abschnitt 2.1 (Seite 11) erläutert. Ein Kurzinhalt der einzelnen Studien ist im Anhang C (Seite 141 ff.) zu finden.

Tabelle 10:
Übersicht der Literatur zum Trackball

Bewertung	1	2	3	Summe
Anzahl	4	7	2	16

3.4.2 Trackball – Auswertung der Literatur

Die meisten Untersuchungen verglichen den Trackball mit der Maus oder anderen Eingabemitteln. Wenige Studien beschäftigten sich ausschließlich mit dem Trackball. Der Schwerpunkt der Ergebnisdarstellung bezieht sich daher auf die Gegenüberstellung von Maus und Trackball. Vergleiche zwischen Trackball und Griffel mit Tablettnutzung sind unter Abschnitt 3.5 (Seite 60) zu finden.

Allgemein hat der Trackball den Vorteil, dass er stationär betätigt werden kann und somit weniger Platz als die Maus benötigt [76 bis 78]. Außerdem muss er nicht



unbedingt auf einer ebenen Unterfläche liegen, sondern kann z. B. auch auf den Oberschenkel bedient werden [78].

Ähnlich wie die Maus ist der Trackball gegen Verschmutzung anfällig. Das Rollverhalten der Kugel kann dadurch massiv beeinträchtigt werden. Ein weiterer Nachteil des Trackballs kann sein, dass er bei Nichtgebrauch nicht so leicht wie eine Maus beiseite geschoben werden kann, da die Haftreibung der Unterseite größer ist [76]. Ein Verschieben des Trackballs könnte aber eventuell erwünscht sein bei häufigem Wechsel der Tätigkeit zwischen Benutzung der Tastatur, des Trackballs, Schreibarbeiten auf Papier usw., also bei Situationen, in denen der Arbeitsplatz immer wieder neu arrangiert werden muss.

Hand- und Armhaltung

Bei der Nutzung eines Trackballs wurde gegenüber der Eingabetätigkeit mit der Maus eine um ca. 5° größere Handgelenk-Extension festgestellt [55; 79; 80]. Besonders bei großen Trackballs betrug sie bis zu 25°. Diese Extension kann ähnlich wie bei der Tastatur durch eine negative Neigung des Trackballs bzw. der Unterlage des Trackballs reduziert werden [81]. Dafür fielen die Schulter-Anhebung und die Ulnarduktion kleiner aus [4; 55; 80]. *Burgess-Limerick* und *Shemmell* [55] z. B. maßen beim Trackball eine Ulnarduktion von 6°, bei der Maus von 10°. Es ist zu beachten, dass das Design des Trackballs und individuelle Eigenheiten die Hand- und Armhaltung beeinflussen [55; 79]. Worauf die individuellen Unterschiede in der Hand- und Armhaltung gründen und ob sie durch Training verändert werden können, bleibt eine offene Frage.

Design

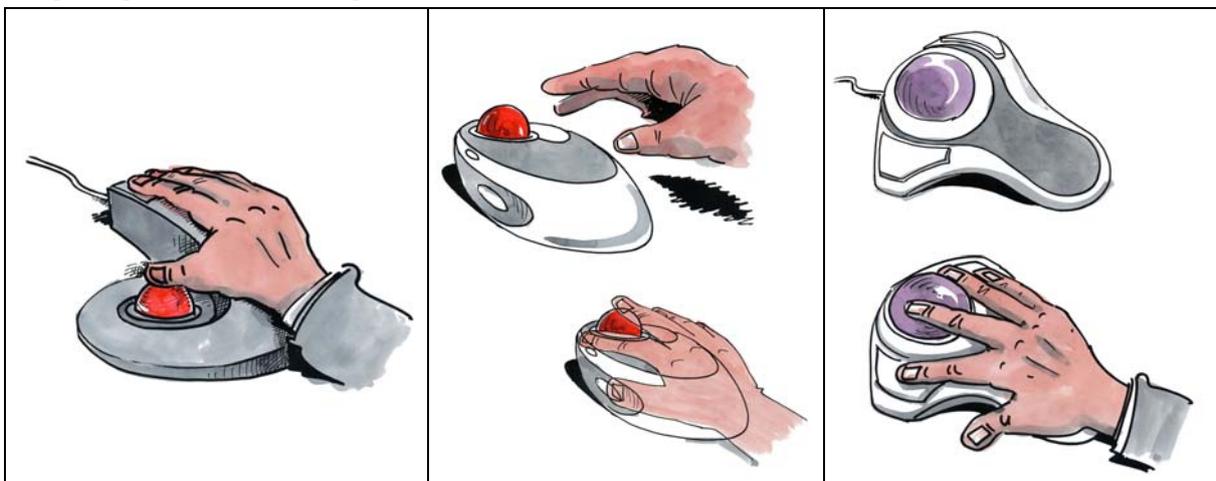
Auf dem Markt werden verschiedenste Formen von Trackballs angeboten (Abbildung 26). Um sich für ein Design entscheiden zu können, dienen folgende Merkmale als Auswahlkriterien [76; 78]:

- Größe des Trackballs
Die Größe sollte der Anthropometrie der Hand angepasst sein.



- Größe der Kugel bzw. des offenen Kugelsegments
Größere Kugeln bzw. Kugeln, die weiter aus dem Gehäuse herausragen, wurden vom Autor eher bevorzugt [78].
- Kugellauf (Leichtigkeit, Genauigkeit, Kontrolle, Beschleunigungskurve)
Eine Balance zwischen Leichtläufigkeit der Kugel und ausreichender Kontrolle bei der Kugelbedienung ist wichtig. Die Beschleunigungskurve kann bei einem Trackball oft individuell eingestellt werden.
- Anzahl und Anordnung der Tasten
Die Betätigung der Tasten sollte mit möglichst neutralen Fingerhaltungen erfolgen können.
- Funktion der Tasten
Die Funktionen können bei einigen Trackballs frei den einzelnen Tasten zugeordnet und so den Arbeitsanforderungen angepasst werden.
- Reinigungsmöglichkeit
Da das Rollverhalten der Kugel sensibel auf Verschmutzung reagiert, ist es sinnvoll, wenn die Kugel leicht aus dem Gehäuse herausnehmbar ist, um ein regelmäßiges Reinigen zu erleichtern.

Abbildung 26:
Beispiele für Trackballs und deren Bedienung mit Daumen,
Zeigefinger und Mittelfinger





Hsu und *Wang* [82] haben in einer Studie drei Trackballs, die sich in der Bedienung der Kugel unterschieden, miteinander verglichen:

- Bedienung mit dem Daumen (DT)
- Bedienung mit dem Zeigefinger (ZT)
- Bedienung mit dem Mittelfinger (MT)

Anhand der Parameter Haltung, Muskelaktivität, Performance und subjektivem Empfinden wurde ein Bewertungssystem erstellt, in dem höhere Bewertungszahlen ein besseres Ergebnis darstellen. Nach Berechnung der Bewertungszahl über sämtlich gestellte Aufgaben kamen die Autoren zu dem Ergebnis in Tabelle 11.

Hsu und *Wang* [82] empfahlen aufgrund dieser Ergebnisse für langsam und mit hoher Präzision auszuführende Aufgaben einen Trackball, dessen Kugel mit dem Mittelfinger gesteuert wird mit der Einschränkung, dass diese Tätigkeit nicht allzu lang andauert (die Zeitdauer wurde nicht konkretisiert). Trackballs mit Zeigefingerbetätigung sollten nur für kurze Arbeitseinheiten benutzt werden. Für längere Arbeitszeiten mit dem Trackball wurde das Design mit Daumenbetätigung als besonders geeignet erachtet, auch wenn Aufgaben, die eine genaue Punktansteuerung beinhalteten, bei gleicher Performance mehr Zeit beanspruchten. Die physiologischen Belastungen scheinen bei diesem Modell aber am geringsten zu sein.

Tabelle 11:
Vergleich dreier Trackballs

Kugelbetätigung: mit dem Mittelfinger = MT, mit dem Daumen = DT, mit dem Zeigefinger = ZT

	Haltung	Muskelaktivitäten	Performance	Gesamt	Subjektives Empfinden
MT	-2	2	-1 ¹	-1	schlecht
DT	4	3	-1 ²	6	gut
ZT	-2	-2	-2	-6	gut ³

¹ Bei langsamen präzisen Cursorbewegungen fiel die Performance gut aus. Bei schnellen präzisen Bewegungen traten hingegen Probleme auf.

² Präzision verlangende Aufgaben wurden mit diesem Trackball etwas langsamer ausgeführt.

³ Obwohl dieser Trackball in Haltung, Muskelaktivitäten und Performance am schlechtesten abschnitt, erhielt er von den Testpersonen gute subjektive Bewertungen. Dies könnte daran liegen, dass sie das Gefühl hatten, mit dem Zeigefinger die beste Kontrolle zu haben.



Muskelaktivitäten

Vier Studien [4; 80; 82; 83], die anhand der mittels EMG erfassten Muskelaktivitäten die Benutzung von Maus und Trackball vergleichend untersucht haben, konnten auffindig gemacht werden. Es ist schwierig, ein einfaches Fazit aus den Studien zu ziehen, da einerseits unterschiedliche Muskeln gemessen und andererseits verschiedene Trackballdesigns verwendet wurden. Allenfalls wird eine Tendenz ersichtlich, dass die Schultermuskulatur mit dem Trackball weniger beansprucht wird [4; 80]. In Abhängigkeit vom Design wurde auch für die Unterarmmuskulatur eine geringere elektrische Aktivität im EMG aufgezeichnet [4; 82]; hierbei erwiesen sich daumengesteuerte Trackballs im Vergleich zu zeige- und mittelfingergesteuerten Designs als ergonomischer [82] (siehe Abschnitt Design auf Seite 54 ff.).

Benutzung rechts/links

Beim Trackball scheint es weit weniger Performance-Unterschiede zwischen der rechten und linken Hand zu geben, als dies bei der Maus der Fall ist [72]. Ein Handwechsel ist somit einfacher und braucht eine kürzere Gewöhnungszeit. Die Belastung des Muskel-Skelett-Systems durch Betätigung des Eingabemittels kann also relativ problemlos auf beide Arme verteilt werden. Bei einer abwechselnden Nutzung des Trackballs mit rechts und links ist allerdings zu beachten, dass nicht jedes Design für beide Hände geeignet ist [77]. Die Form oder Tastenanordnung kann spezifisch für rechts- oder linkshändigen Gebrauch konzipiert sein.

Neben der wechselseitigen Nutzung des Trackballs mit rechts und links besteht auch die Möglichkeit, auf der dominanten Seite mit einer Maus, auf der nicht dominanten Seite mit einem Trackball zu arbeiten.

Performance

In Tabelle 12 (siehe Seite 58) ist eine Übersicht der Performance-Unterschiede zwischen Trackball und Maus gegeben. Es wird ersichtlich, dass die Arbeit mit dem Trackball eher langsamer von der Hand geht als mit der Maus. Betrachtet man die Fehlerquote, schnitten die beiden Eingabemittel über alle Studien gesehen in etwa gleich ab.



Tabelle 12:
Vergleich Trackball – Maus: Performance

Studie	Geschwindigkeit	Fehlerquote
<i>Chaparro et al. [83]</i>	–	
<i>Chase und Casali [84]</i>	=	=
<i>Hancock [85]</i>		–
<i>Hsu und Wang [82]</i>	–	
<i>Kabbash et al. [72]</i>	–	=
<i>Karlqvist et al. [80]</i>	=	=
<i>MacKenzie et al. [86]</i>	–	+
<i>Zöller und Konheisner [87]</i>	–	=

–: Trackball ist langsamer bzw. weist eine niedrigere Fehlerquote auf

=: Trackball und Maus gleich

+: Trackball ist schneller bzw. weist eine höhere Fehlerquote auf

Die Tests in den Studien dauerten allerdings fast immer nur wenige Minuten und den Testpersonen, die in der Arbeit mit der Maus, nicht aber mit dem Trackball geübt waren, wurde keine angemessene Gewöhnungszeit (von z. B. einigen Tagen) gewährt. Daher ist es möglich, dass sich mit zunehmender Vertrautheit die Arbeitsgeschwindigkeit mit dem Trackball an die mit der Maus angleichen würde.

Subjektives Empfinden

In fünf Studien wurde das subjektive Empfinden als Bewertungskriterium benannt und den Testpersonen die Entscheidung überlassen, ob sie lieber mit der Maus oder dem Trackball arbeiteten. Zwei Studien hatten zum Ergebnis, dass das subjektive Empfinden bei der Maus zu einer positiveren Bewertung führte als beim Trackball [80; 88], bei drei Studien bevorzugten die Testpersonen den Trackball [82; 83; 85].

In allen Studien waren die Testpersonen gewohnt, mit der Maus zu arbeiten. Der Trackball hingegen war ein neues Eingabemittel und wurde jeweils nur während der Testzeit benutzt, wobei in einer Studie, die eine positive Einschätzung der Arbeit mit dem Trackball zum Ergebnis hatte, der Untersuchungsplan mit 3,5 Stunden die längste Testperiode aufwies [82]. Möglicherweise könnte sich also das subjektive



Empfinden nach einer längeren Anpassungsphase und täglicher Nutzung des Trackballs bei gewohnten Arbeiten zur deutlicheren Bevorzugung des Trackballs hin verändern.

Kraftfeedback

Wie bei der Maus gibt es auch für den Trackball Software, die das Verhalten des Cursors und das Empfinden bei der Kugelbedienung im Sinne einer unterstützenden Steuerung beeinflusst. So kann eine solche Software bewirken, dass sich die Bedienung der Kugel bei Annäherung des Cursors an den Zielbereich so anfühlt, als ob die Kugel in ein Loch rollen würde. In einer Studie von *Keuning et al.* [89] konnte durch solch ein Kraftfeedback die Performance verbessert werden. Dabei hatten die Form des Kraftfeldes und die Stärke der Rückmeldung einen Einfluss (für detaillierte Informationen siehe Inhaltsangabe in Anhang C, Seite 141 ff.). Über die Umsetzung und Anwendung im Arbeitsalltag können indes keine Angaben gemacht werden.

3.4.3 Literatur zum Trackball – Zusammenfassung

Der Vergleich zwischen Trackball und Maus führt zu keiner eindeutigen Aussage darüber, dass eines der beiden Eingabemittel in jedem Fall zu bevorzugen sei. Es gibt Studien, bei denen der Trackball besser abgeschnitten hat, bei anderen verhielt es sich umgekehrt. Der Trackball fordert mehr Bewegung mit den Fingern, die Maus wird eher aus dem Handgelenk und dem Unterarm heraus bewegt [87]. Beim Trackball scheint die Ulnardeviation geringer, die Handgelenk-Extension größer zu sein. Diese Haltung kann aber stark vom Design abhängen. Zum Teil konnten große individuelle Unterschiede festgestellt werden, welche die Interpretation der Studienergebnisse zusätzlich erschweren.

Soll also als Alternative zur Maus ein Trackball eingesetzt werden, um z. B. Haltungprobleme zu umgehen, muss nach einer angemessenen Anpassungszeit darauf geachtet werden, ob das neue Eingabemittel tatsächlich eine Verbesserung bringt.

Ein großer Vorteil des Trackballs ist der offenbar mit geringen Anpassungsproblemen und Diskrepanzen in der Performance versehene Wechsel zwischen der Benutzung mit der rechten und linken Hand. Damit ist eine einfache Möglichkeit zur Entlastung

der dominanten Seite verbunden. Besonders für längeres Arbeiten wurde ein Trackball mit Daumenbetätigung der Kugel empfohlen.

3.4.4 Literatur zum Trackball – Diskussion

Die Ergebnisse der Studien stehen im Einklang mit den Empfehlungen und Richtwerten der Normen. Aus den Studien, die Maus und Trackball vergleichen, können Hinweise und Entscheidungshilfen zur Lösung auftretender Probleme und Fragen bei der Arbeit mit Eingabemitteln herausgearbeitet werden.

3.5 Literatur zum Griffel mit Tablettnutzung

3.5.1 Bewertung der Studien zum Griffel mit Tablettnutzung

Lediglich sieben Artikel lieferten brauchbare Informationen über Griffel mit Tablettnutzung (Abbildung 27) im Büroarbeitsbereich. Da dieses Eingabemittel eine ernstzunehmende Alternative zur Maus bieten kann, werden die Ergebnisse trotzdem in diesem Report erwähnt.

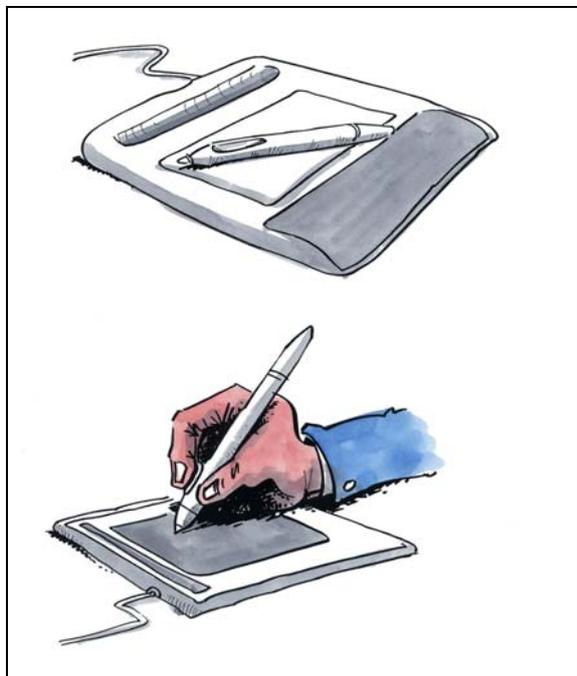


Abbildung 27:
Beispiel für ein Tablett mit Griffelbenutzung

Die Bewertungskriterien in Tabelle 13 wurden in Abschnitt 2.1 (Seite 11) erläutert. Ein Kurzzinhalt der einzelnen Studien ist im Anhang D (Seite 151 ff.) zu finden.



Tabelle 13:
Übersicht der Literatur zum Griffel mit Tablettnutzung

Bewertung	1	2	3	Summe
Anzahl	2	5	0	7

3.5.2 Griffel mit Tablettnutzung – Auswertung der Literatur

Die ausgewählten Studien beziehen sich ausschließlich auf einen Gebrauch des Griffels mit Tablettnutzung im Sinne einer Alternative zur Maus, d. h. es wurden Arbeitsaufgaben wie Auswählen, Anklicken, Ziehen, Figuren nachfahren und Ähnliches untersucht. Die Verwendung des Griffels mit Tablettnutzung als eine Alternative zur Tastatur, indem die Handschrift erkannt wird, wird nicht behandelt. Zu diesem Thema wurden keine verwertbaren Studien gefunden.

Hand- und Armhaltung

In einem technischen Report [90] wurden die Hand- und Armhaltungen bei Eingabetätigkeiten mit einer Maus und einem Griffel mit Tablettnutzung gegenübergestellt (Tabelle 14).

Tabelle 14:
Vergleich der Haltung beim Griffel mit Tablettnutzung und bei der Maus

	Griffel mit Tablettnutzung	Maus
Unterarm-Pronation	keine	maximal
Handgelenk-Extension	keine	8 bis 12°
Handgelenk-Flexion	klein	keine
Ulnarduktion	< 4°, die meiste Zeit sogar < 1,5°	bis 12°
Radialduktion	< 2,5°, die meiste Zeit sogar < 1°	2 bis 3°
Finger-Extension	keine	abhängig von Tastenwinkel
Finger-Flexion	permanent	bei Tastenbetätigung und zu kleinen Mäusen
Finger-Abduktion	keine	abhängig von Tastenanordnung



Insgesamt scheint mit dem Griffel eine neutralere Handhaltung möglich zu sein als mit einer konventionellen Maus. Allerdings wurde hier die Arm-Abduktion nicht untersucht, die von der Lage des Tabletts abhängig ist. Für dessen Position gelten dieselben Empfehlungen wie für den Arbeitsbereich mit der Maus (Abschnitt 3.3.2, Seite 41). Außerdem sollte aus demselben Grund der Arbeitsbereich des Tabletts nicht zu groß sein.

Design

Das Design ist bei einem Griffel mit Tablettnutzung nicht so variantenreich wie bei der Tastatur, der Maus oder dem Trackball. Über die Form des Tabletts wurden keine Studien gefunden. Sicher sollte es möglichst flach und die Kanten sollten abgerundet sein, damit Druckstellen am Unterarm vermieden werden können.

Für die Ergonomie des Griffels sind Durchmesser und Länge entscheidend. Letztere sollte nicht kleiner als die Breite der Hand sein. Empfohlen wurde eine Länge von 100 mm [91]. Der optimale Durchmesser des Griffels hängt von der Aufgabenstellung ab. Bei einer Untersuchung mit 5,5 mm, 8 mm, 11 mm und 15 mm dicken Stiften schnitten für Pointing-and-clicking (Auswählen und Anklicken von Feldern) die dünneren Griffel in Performance und Präferenz der Testpersonen besser ab. Bei Präzision erfordernden Aufgaben, z. B. beim Nachzeichnen von Figuren, waren die dickeren Griffel die besten. Sollte das Eingabemittel für mehrere unterschiedliche Aufgaben benutzt werden, empfahlen *Wu* und *Luo* [91] eine Griffeldicke von 8 mm.

Muskelaktivitäten

Bei einem Vergleich zwischen einer konventionellen Maus mit zwei Tasten und einem Griffel mit Tablettnutzung konnte festgestellt werden, dass die Benutzung des Griffels weniger Muskelaktivitäten im Unterarm benötigte als der Mausgebrauch. Der Stress auf die Finger wurde um ca. 5 bis 10 % reduziert [92].

Um zusätzliche muskuläre Belastungen durch ungünstige Haltungen zu vermeiden, sollte der Unterarm wie beim normalen Schreiben auf Papier auf dem Tablett liegen [93].



Performance

Der Griffel mit Tablettnutzung wurde in verschiedenen Studien jeweils anhand der Performance mit der Maus, Maus und Tastatur sowie mit dem Trackball verglichen:

- *Kotani und Horii* [92] – Vergleich zwischen Griffel mit Tablettnutzung und Maus:
Zu Beginn schnitt die Maus in der Geschwindigkeit und Fehlerquote besser ab als der Griffel mit Tablettnutzung, doch bereits ab dem zweiten Tag glich sich die Performance an bzw. schnitt diejenige des Griffels mit Tablettnutzung sogar besser ab. Bei Aufgaben, die eine hohe Präzision erforderten, war der Griffel mit Tablettnutzung von Beginn an besser.
- *Coll et al.* [94] – Vergleich zwischen Tastatur (Cursortasten), Maus und Griffel mit Tablettnutzung
Die Maus erwies sich in dieser Studie als schnellstes Eingabemittel, gefolgt vom Griffel mit Tablettnutzung. Die Bedienung der Cursortasten auf der Tastatur war am langsamsten. Dafür machten die Testpersonen mit der Tastatur am wenigsten Fehler. Der Griffel mit Tablettnutzung schnitt hier am schlechtesten ab. Die Untersuchungen dauerten 2 x 45 Minuten.
- *Kabbash et al.* [72], *MacKenzie et al.* [86] – Vergleich zwischen Griffel mit Tablettnutzung und einem Trackball
In beiden Studien war der Griffel mit Tablettnutzung schneller als der Trackball. In den Fehlerquoten unterschieden sich die Resultate der beiden Studien: Zwar bewältigten die Testpersonen bei *MacKenzie et al.* [86] die Auswahlaufgaben (Pointing) mit beiden Eingabemitteln gleich gut, beim „Dragging“ (mit gehaltener Taste ziehen) schnitten sie aber mit dem Griffel besser ab, was bei *Kabbash et al.* [72] umgekehrt war. In der zuletzt genannten Studie wurde außerdem die Performance bei einem Wechsel des Eingabemittels von der dominanten zur nicht dominanten Hand untersucht. Beim Griffel mit Tablettnutzung waren die Performance-Unterschiede wesentlich größer als beim Trackball. Bei beiden Studien fielen die Untersuchungszeiten kurz aus.

Zusammenfassend wurde mit dem Griffel mit Tablettnutzung nach einer kurzen Eingewöhnungszeit mindestens so schnell gearbeitet wie mit der Maus und schneller als



mit dem Trackball und den Cursorstasten der Tastatur. Bei den Fehlerquoten fielen die Ergebnisse unterschiedlich und teils widersprüchlich aus. Auch hier scheint aber die Benutzung des Griffels mit Tablettnutzung nach einer angemessenen Eingewöhnungszeit Performance-Werte wie mit der Maus zu erreichen.

Subjektives Empfinden

Bei einem Vergleich zwischen einem Griffel mit Tablettnutzung, einer Tastatur (Cursorstasten) und einer Maus bevorzugten signifikant mehr Testpersonen für alle Aufgaben die beiden anderen Eingabemittel gegenüber dem Griffel [94]. Bei den Untersuchungen dauerten die Tests allerdings lediglich 45 Minuten pro Eingabemittel. Weitere Untersuchungen zur Beantwortung der Frage, ob sich die Einstellung zum Griffel mit Tablettnutzung bei einer längeren Eingewöhnungszeit änderte, wären wünschenswert.

3.5.3 Literatur zum Griffel mit Tablettnutzung – Zusammenfassung

Die wenigen Studien deuten darauf hin, dass vom biomechanischen Standpunkt her (Muskelaktivitäten, Körperhaltungen) die Nutzung eines Griffels zusammen mit einem Tablett Vorteile mit sich bringen könnte. Bei Problemen mit der Maus kann dieses Eingabemittel also eine Alternative sein. Die Performance wurde unterschiedlich beurteilt, war zum Teil bereits von Beginn an gleich gut bis besser als mit einer Maus. Wegen der möglicherweise mangelnden Akzeptanz des Griffels mit Tablettnutzung als Ersatz für die Maus muss eine solche Maßnahme sorgfältig im Einzelfall geprüft werden.

3.5.4 Literatur zum Griffel mit Tablettnutzung – Diskussion

Der Vergleich der Studienergebnisse mit den Angaben in den Normen zeigt kleine Unterschiede im Design des Griffels. In der Norm wird eine Länge von 120 bis 180 mm angegeben, *Wu* und *Luo* [91] empfehlen, dass die Griffellänge der Breite der Hand entsprechen soll und gaben ein Maß von 100 mm an. Für den Durchmesser des Griffels werden in derselben Studie 8 mm empfohlen und damit liegt diese Empfehlung im Rahmen der Norm, die eine Griffeldicke von 7 bis 20 mm vorschreibt. Sollte der Griffel allerdings vorwiegend für Auswählen und Anklicken von Elementen



gebraucht werden, empfohlen *Wu* und *Luo* [91] einen mit 5,5 mm Durchmesser dünneren Griffel. Die hier diskutierten Diskrepanzen könnten eventuell auf den unterschiedlichen anthropometrischen Gegebenheiten im europäischen und asiatischen Raum beruhen.

Über die Tastenanordnung und -betätigung am Griffel wurden keine Informationen in den Artikeln gefunden.

3.6 Literatur zur Hand-/Armauflage

In Tabelle 15 ist die Anzahl der bearbeiteten und unterschiedlich bewerteten Artikel angegeben. Die Bewertungskriterien wurden in Abschnitt 2.1 (Seite 11) erläutert. Kurzinhalte der einzelnen Studien sind im Anhang E (Seite 157 ff.) zu finden.

Tabelle 15:
Übersicht der Literatur zur Hand-/Armauflage

Bewertung	1	2	3	Summe
Anzahl	0	14	6	21

3.6.1 Hand-/Armauflage – Auswertung der Literatur

Neben der Form eines Eingabemittels beeinflusst die Arbeitstechnik die Körperhaltung und Muskelaktivitäten der Benutzer/-innen. In diesem Zusammenhang ist zu klären, ob die Arme während des Tippens oder des Gebrauchs anderer Eingabemittel abgestützt sein sollten. Dabei lassen sich Unterarmauflagen oder lediglich Auflagen für die Handballen und Handgelenke (Handgelenkauflagen) unterscheiden. In Tabelle 16 (Seite 66) sind Studien aufgelistet, die Effekte von Hand-/Armauflagen untersucht haben. Dabei ist aufgeführt, ob die Ergebnisse positiv, negativ oder kontrovers waren, um welche Art von Auflage es sich handelte und mit welchem Eingabemittel die Auflagen getestet wurden.

Aus der Tabelle wird ersichtlich, dass Unterarmauflagen fast ausschließlich positiv bewertet wurden. Ihr großer Vorteil ist die Reduktion der Muskelaktivitäten vor allem im *M. trapezius* [3; 68; 80; 95; 97; 99; 101 bis 103; 106; 107]. Teilweise konnte auch eine Reduktion der Handgelenk-Extension [97; 103; 105] und der Ulnarduktion



[3; 97; 106] gemessen werden. Es wurde ein verbessertes Komfortempfinden [68; 96; 97; 102; 105] und ein Rückgang der Beschwerden registriert [96; 98; 104].

Tabelle 16:
Studienergebnisse zu Hand-/Armauflagen

Studie	Ergebnis			Eingabemittel/Art der Auflage
	positiv	negativ	kontrovers	
Aaras et al. [95]	X			<ul style="list-style-type: none"> Tastatur und Maus Unterarmauflage Unterarm auf Tisch
Cook und Burgess-Limerick [96]	X			<ul style="list-style-type: none"> Tastatur und Maus Unterarmauflage bei Tastatur ganzer Unterarm ohne Ellbogen, bei Maus mindestens Hälfte des Unterarms)
Cook et al. [97]	X			<ul style="list-style-type: none"> Tastatur Unterarm- und Handgelenkauflage Handgelenkauflage: 65 mm tief, 17 mm hoch, vor der Auflage 100 mm Platz Unterarmauflage: Tastatur so weit zurückgeschoben, dass ganzer Unterarm auf Tisch aufliegen konnte
Delisle et al. [98]	X			<ul style="list-style-type: none"> Tastatur und Maus Unterarmauflage Unterarm auf Tisch oder Armlehnen des Stuhls
Erderlyi et al. [99]	X bei Beschwerden		X ohne Beschwerden	<ul style="list-style-type: none"> Tastatur Unterarmauflage zwei verschiedene Auflagekonstruktionen, 150 mm
Feng et al. [100]			X	<ul style="list-style-type: none"> Tastatur Unterarmauflage drei Konstruktionen: 280 mm, 200 mm, ganzer Unterarm mit Ellbogen
Fernström und Ericson [101]			X Schulter positiv, Unterarm und Hand negativ	<ul style="list-style-type: none"> Maus Unterarmauflage bewegliche Armunterstützung am Stuhl
Hasegawa und Kumashiro [102]	X			<ul style="list-style-type: none"> Tastatur Unterarmauflage Armlehnen des Stuhls, 310 mm lang und/oder Handgelenkauflage 80 mm auf Tisch
Hedge und Powers [32]		X		<ul style="list-style-type: none"> Tastatur Unterarmauflage am Tisch befestigte bewegliche Konstruktion
Karlqvist et al. [68]	X			<ul style="list-style-type: none"> Maus Unterarmauflage 20 cm auf Tisch
Karlqvist et al. [80]	X			<ul style="list-style-type: none"> Maus und Trackball Unterarmauflage auf dem Tisch ca. 20 cm, keine genauen Angaben



Tabelle 16: Fortsetzung

Studie	Ergebnis			Eingabemittel/Art der Auflage
	positiv	negativ	kontrovers	
<i>Lintula et al.</i> [103]	X			<ul style="list-style-type: none"> • Tastatur und Maus • Unterarmauflage, an Tischkante montiert, Teil der Unterarme aufgelegt
<i>Marcus et al.</i> [34]	X Tischauflage > 12 cm	X Handgelenk- auflage		<ul style="list-style-type: none"> • Tastatur • Unterarm- und Handgelenkauflage Handgelenkauflage nicht weiter spezifiziert
<i>Rempel et al.</i> [104]	X			<ul style="list-style-type: none"> • Tastatur, Maus, Trackball • Unterarmauflage an Tastatur befestigt, 30 cm tief
<i>Smith et al.</i> [105]	X			<ul style="list-style-type: none"> • Tastatur • Handgelenkauflage nicht weiter beschrieben
<i>Sillanpää et al.</i> [106]			X	<ul style="list-style-type: none"> • Maus • Unterarmauflage, Tisch, ganzer Unterarm • Handgelenkauflage Polster von 20 mm Dicke
<i>Stack</i> [31]	X			<ul style="list-style-type: none"> • Tastatur • Handgelenkauflage, mindestens 70 mm, der Tastaturneigung und -höhe angepasst
<i>Visser et al.</i> [107]	X Unterarm- auflage	X Handgelenk- auflage		<ul style="list-style-type: none"> • Tastatur und Maus • Handgelenk- und Unterarmauflage verschiedene Konstruktionen: Unterarmauflagen 204 mm und 131 mm, Handgelenkauflagen 130 mm und 75 mm
<i>Woods et al.</i> [3]			X	<ul style="list-style-type: none"> • Maus • Unterarmauflage ganzer Unterarm auf Tisch • Handgelenkauflage Tisch

In den Studien, deren Ergebnisse kontroverse oder negative Beurteilungen der Unterarmauflagen dokumentieren, wurden oft mehr oder weniger komplizierte Konstruktionen benutzt [32; 99 bis 101]. Insbesondere wenn die Arbeitsposition öfter gewechselt wird, können aufwendige Konstruktionen stören [103]. Die Unterarme – zumindest teilweise – auf dem Schreibtisch aufzulegen, indem die Tastatur von der Tischkante zurückgeschoben wird, scheint durchaus zu genügen und sollte daher in der ergonomischen Arbeitsplatzkonzeption Berücksichtigung finden.

Trotz vieler positiver Aspekte von Armauflagen wurden auch negative Nebenerscheinungen festgestellt. So wurden zwar in vielen Studien die Muskelaktivitäten der Schulterregion verringert, dafür aber teils diejenigen im Unterarm-/Handbereich erhöht [3; 101; 106]. Eine Unterarmauflage auf der Tischplatte, also wenn die



Tastatur von der Tischkante weiter weg geschoben wurde, ging mit einer größeren Oberarm-Flexion einher [98].

Die Untersuchung von Handgelenkauflagen ergaben im Vergleich zu den Unterarm-auflagen eher negative Effekte auf muskuläre Aktivitäten [107] und Hand-/Armbeschwerden [34]. Positive Ergebnisse allerdings sind bei *Stack* [31] zu finden. Insbesondere bei einer Tastatur mit einem sehr leichten Anschlag sei eine Unterstützung des Handgelenks unverzichtbar, da die Finger in den kleinen Schreibpausen wegen der Gefahr einer unabsichtlichen Betätigung nicht auf den Tasten ruhen können. Betont wurde aber auch, dass ein korrektes Design der Handgelenkaufgabe von großer Wichtigkeit ist: Sie muss spezifisch auf die Tastatur abgestimmt sein, der Winkel muss dem Neigungswinkel der Tastatur entsprechen, die Höhe muss gleich sein und die Tiefe sollte mindestens 70 mm (besser 80 mm, bei sehr langen Unterarmen und Händen eventuell noch mehr) betragen. Der Unterarm und die Hand sollten eine gerade Linie bilden. Eine flache Form der Auflage ist zu bevorzugen, am besten aus Holz oder Plastik (nicht Wärme leitend und keine große Reibung) [31].

In den Studien wurde nicht immer klar, was genau als Handauflage und was als Armauflage bezeichnet wurde oder wie viel vom Unterarm bei einer Armauflage abgestützt wurde. Tabelle 17 zeigt die Studien, in denen genaue Angaben gefunden wurden und die mit zumindest teilweise positiven Ergebnissen zu Armauflagen abgeschlossen hatten.

Tabelle 17:
Tiefe bzw. Länge der Unterarmauflagen

Tiefe bzw. Länge der Armauflage	Anzahl der Studien
ganzer Unterarm	5 [3; 96; 97; 100; 106]
300 mm	2 [102; 104]
200 mm	3, davon 2 nur mit Maus [68; 80; 107]
150 mm	1 [99]
mindestens halber Unterarm	1 (mit Maus) [96]
130 mm	1 [107]
> 120 mm	1 [34]

Die anthropometrische Unterarmlänge des 50. Perzentils der Männer beträgt 286 mm, die der Frauen 253 mm. Eine Armauflage von 300 mm kann also als Auflage für den ganzen Unterarm bezeichnet werden. Somit hatten sieben Studien positive Ergebnisse mit einer vollen Unterarmauflage.

3.6.2 Literatur zur Hand-/Armauflage – Zusammenfassung

Es scheint sinnvoll, die Möglichkeit zu bieten, die Unterarme während der Benutzung eines Computer-Eingabemittels abstützen zu können. Bei Personen mit Nackenbeschwerden ist dies besonders zu empfehlen. Beachtet werden muss dabei, dass die Höhe der Armauflage mit der ergonomischen Sitzhaltung und Arbeitsplatzkonzeption abgestimmt ist, da eine zu hohe Unterarmhaltung zu erhöhten Muskelaktivitäten im Schulterbereich führen kann [68; 99; 108]. Eine Auflage auf dem Tisch, indem die Tastatur oder andere Eingabemittel von der Tischkante zurückgeschoben werden, scheint auszureichen. Ist der Platz hierfür nicht vorhanden, kann auf die Armlehnen des Stuhls (Abbildung 28) oder andere spezielle Konstruktionen zurückgegriffen werden (Abbildungen 29 und 30). Dabei ist aber darauf zu achten, dass die Gesamt-ergonomie des Arbeitsplatzes nicht gestört wird. Handgelenkauflagen sollten mit Vorbehalt verwendet werden.



Abbildung 28:
Armlehnen als Unterarm-
auflagen



Abbildung 29:
Bewegliche Armauflagen für
Tastatur- und Mausbenutzung



Abbildung 30:
Armauflage für Tastatur-
benutzung

3.6.3 Literatur zur Hand-/Armauflage – Diskussion

In den Normen wird vor der Tastatur ein Platz von mindestens 100 mm empfohlen. Die Checkliste der VBG empfiehlt 100 bis 150 mm. Die meisten Studien mit positiven Ergebnissen haben eine größere Armauflage benutzt. Ob bei einer Wahl von kleineren Auflagen dieselben Resultate erzielt worden wären, kann nicht beurteilt werden. Es wurden keine Studien gefunden, die unterschiedlich große Armauflagen mit ansonsten identischen Designs und unter denselben Bedingungen getestet haben. Um fundierte Aussagen über Art und Größe von Armauflagen machen zu können, wären weitere gezielte Untersuchungen notwendig.

4 Umsetzung/Anwendung in der Praxis

4.1 Ergonomische Kriterien allgemein

Bei der Nutzung eines Computer-Eingabemittels sollten folgende Kriterien erfüllt sein:

- Das Eingabemittel soll den Aufgabenstellungen gerecht werden. Eine Hilfe dazu könnte die Broschüre des niederländischen Arbeitsschutzinstituts TNO Arbeit [109] sein.
- Das Eingabemittel sollte in möglichst neutraler Körperhaltung zu benutzen sein. Die Neutralposition wird vom Design und von der Position des Eingabemittels und der individuellen Arbeitstechnik beeinflusst.
- Eine Minimierung des muskulären Aktivitätslevels durch kleinen Kraftaufwand und möglichst wenig statische und ungünstige Haltungen sollte angestrebt werden. Einflussfaktoren dabei sind das Design und die Position des Eingabemittels sowie die Arbeitstechnik.
- Individuelle Unterschiede in Körperhaltungen, anthropometrischen Daten, Arbeitstechniken und Vorlieben müssen berücksichtigt werden.

Auf eine ergonomische Benutzung von Computer-Eingabemitteln sollte nicht erst geachtet werden, wenn Beschwerden auftreten. Eine sinnvolle Prävention kann vor gesundheitlichen Problemen und den damit zusammenhängenden Leistungseinbußen schützen. Dabei ist es von großer Wichtigkeit, dass bei den erwogenen Maßnahmen stets die Auswirkungen auf den gesamten Arbeitsplatz betrachtet werden. In Form der BGI 650 „Bildschirm- und Büroarbeitsplätze – Leitfaden für die Gestaltung“ sind alle Daten, Informationen und Umsetzungsbeispiele als praktische Hilfe verfügbar, um die Arbeit mit einem Computer ergonomisch zu gestalten und auszuführen [14]. Bei Beachtung kann davon ausgegangen werden, dass die Anforderungen und Schutzziele von Arbeitsschutzgesetz, Bildschirmarbeitsverordnung und Betriebs-sicherheitsverordnung eingehalten bzw. erreicht und damit Unfälle und arbeitsbedingte Gesundheitsgefahren vermieden werden.

Sollten dennoch gesundheitliche Beschwerden in Zusammenhang mit dem Computerarbeitsplatz und der Benutzung von Eingabemitteln auftreten, wird geraten, frühzeitig eine/n Arbeitsmediziner/-in aufzusuchen.

4.2 Checklisten

Computerarbeit und die Benutzung von Eingabemitteln können zu Beschwerden im Muskel-Skelett-System der Hand, des Arms, der Schulter und des Nackens führen. Insbesondere bei vorbestehenden akuten oder chronischen Erkrankungen des Bewegungssystems, z. B. rheumatische Erkrankungen, „Tennisarm“ oder „Golferellbogen“, können Beschwerden verursacht oder Symptome verstärkt werden.

Die folgenden beiden Checklisten (Tabellen 18 und 19, Seite 73 bzw. 81) sollen für Arbeitsmediziner/-innen eine Hilfe sein, im individuellen Fall arbeitsbezogene Ursachen von Beschwerden bzw. ihrer Verschlimmerung zu erkennen und eventuell in Zusammenarbeit mit Fachkräften für Arbeitssicherheit oder weiteren Personen, die sich mit der Gestaltung ergonomischer Arbeitsplätze befassen, angepasste Lösungen zu finden. Angestrebt wird, dass alle hier beschriebenen Eingabetätigkeiten in Neutralhaltungen ausgeführt werden können, ohne dadurch die Körperhaltung während anderer anfallender Tätigkeiten zu beeinträchtigen.

Für die Nutzung dieser Checkliste wird folgende Vorgehensweise vorgeschlagen: Beim Auftreten genannter Beschwerden (s. o.) ist es zunächst ratsam, den Betriebsarzt aufzusuchen, um herauszufinden, ob die Beschwerden auf den Arbeitsplatz zurückgeführt werden können. Hierbei muss neben der Erhebung der Arbeitsanamnese auch der Arbeitsplatz in Augenschein genommen werden. Sowohl die Art der Tätigkeit und die Art der Nutzung der Eingabemittel als auch die Körperhaltung und die Arbeitsmethode müssen betrachtet werden.

Das Beschwerdebild und die Arbeitsplatzanalyse dienen der Identifikation des Problems, wie es in der ersten Spalte der Checkliste angegeben ist. In der Spalte mit dem Titel „Maßnahmen“ finden sich Lösungsvorschläge und unter der Rubrik „Bemerkungen“ Hinweise zu den individuell und arbeitsplatzbedingten Besonderheiten, die dabei zu berücksichtigen sind. Die Wirksamkeit der Maßnahmen sollte nach einer angemessenen Eingewöhnungszeit überprüft werden.



4.2.1 Tastatur

Tabelle 18:
Checkliste Tastatur

A Abweichung von der Neutralhaltung		
	Maßnahme	
<p>A I</p> <p>Handgelenk-Ulnardeviation</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tastaturhälften bis 25° auswärts drehen • Tastaturhälften auf Schulterbreite trennen <p><i>Bemerkung:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Beide Maßnahmen sind nur sinnvoll beim Schreiben mit Zehn-Finger-System ohne Sichtkontrolle. • Schulterbreit getrennt liegende Tastaturhälften bereiten außerdem einigen Benutzern Probleme bei Schreibperformance und subjektiv empfundener Ermüdung. 	

Tabelle 18: Fortsetzung

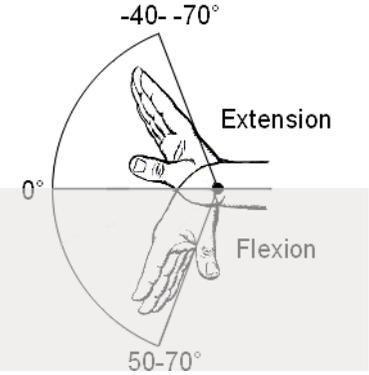
A Abweichung von der Neutralhaltung		
	Maßnahme	
<p>A II Handgelenk-Extension</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • positive Neigung der Tastatur vermindern (Aufstellfüße einklappen) • Handgelenk auf einer Höhe mit dem Ellbogen positionieren <p><i>Bemerkung:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Eine negative Tastaturneigung fördert die Ulnardeviation. Dies kann mit Maßnahme unter A I kompensiert werden. • Eine erhöhte Handgelenkposition gegenüber dem Ellbogen reduziert zwar die Extension, dafür können aber gesundheitliche Probleme im Bereich des Nackens und der Schulter auftreten. • Die negative Tastaturneigung in einem universellen Arbeitsplatzkonzept umsetzen, ohne die restliche Arbeitshaltung zu beeinträchtigen, ist schwierig bzw. aufwendig. 	 <p>flach aufgestellte Tastatur (eingeklappte Füße)</p> <p>Handgelenk und Ellenbogen etwa auf einer Höhe</p>

Tabelle 18: Fortsetzung

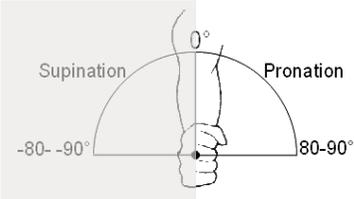
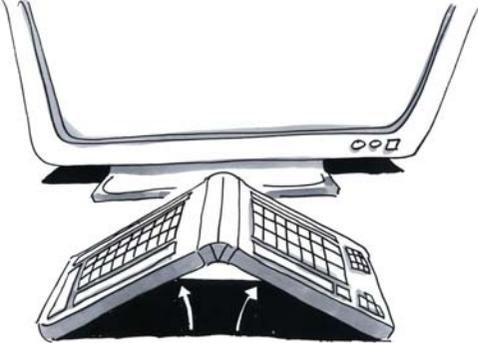
A Abweichung von der Neutralhaltung		
	Maßnahme	
<p>A III</p> <p>Unterarm-Pronation</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Tastaturhälften dachförmig neigen <p><i>Bemerkung:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Dachförmig geneigte Tastaturhälften sind nur sinnvoll beim Schreiben mit Zehn-Finger-System ohne Sichtkontrolle. • Eine dachförmig geneigte Tastatur wird von Benutzern sehr unterschiedlich angenommen. Der Neigungswinkel sollte deswegen individuell einstellbar sein. 	



Tabelle 18: Fortsetzung

A Abweichung von der Neutralhaltung		
	Maßnahme	
<p>A IV</p> <p>Bei Nutzung von Tastaturen mit numerischem Tastenblock*:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verdrehung des Oberkörpers nach links • verstärkte Ulnardeviation rechts gegenüber links <p>*s. a. Checkliste Maus A III (Seite 83)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tastatur so verschieben, dass die Buchstabentasten mittig vor der/dem Benutzer/-in liegen • Tastatur ohne oder mit gesondertem numerischen Tastenblock, der nur bei Bedarf neben die Tastatur gestellt wird <p><i>Bemerkung:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Die genannten Maßnahmen sollten je nach Zeitanteil der Text- oder Zahleneingabe an der Arbeitszeit ausgewählt werden. • Bei Texteingabe wird der numerische Tastenblock selten gebraucht. Daher empfiehlt es sich, darauf zu achten, dass sich der Teil mit den Buchstabentasten zentral vor dem Bildschirm befindet. 	



Tabelle 18: Fortsetzung

B Kraftaufwand		
	Maßnahme	
B I unangemessener Kraftaufwand und fehlende Tastenrückmeldung	<ul style="list-style-type: none"> • Tastaturen mit Tastenauslösekraft zwischen 0,5 und 0,8 N wählen • Tastenverhalten prüfen <p><i>Bemerkung:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Ist der notwendige Kraftaufwand zur Tastenbetätigung zu gering, können wegen der Gefahr einer ungewollten Tastenaktivierung die Finger nicht mehr auf den Tasten ruhend aufliegen (siehe B II). • Es gibt Tastaturen mit unterschiedlichem Tastenverhalten. Angaben dazu sind beim Hersteller zu erfragen. Nach bisherigen Erkenntnissen ist eine kinästhetische Rückmeldung (ein fühlbarer Druckpunkt) von Vorteil. 	



Tabelle 18: Fortsetzung

B Kraftaufwand		
	Maßnahme	
B II statische Haltung der Finger	<ul style="list-style-type: none">• Eine Tastatur mit ausbalanciertem Tastenverhalten zwischen notwendigem Kraftaufwand zur Tastenbetätigung und Auflagemöglichkeit für die Finger auswählen. <p><i>Bemerkung:</i></p> <ul style="list-style-type: none">• Ist der notwendige Kraftaufwand zur Tastenbetätigung zu gering, können wegen der Gefahr einer ungewollten Tastenaktivierung die Finger nicht mehr auf den Tasten ruhend aufliegen. Die Finger müssen also die ganze Zeit über den Tasten gehalten werden, was zu starken lokalen Muskelermüdungen und -beanspruchungen führen kann.	



Tabelle 18: Fortsetzung

B Kraftaufwand		
	Maßnahme	
B III statische Haltung der Arme	<ul style="list-style-type: none"> • Handballen- und Unterarmauflagen vorsehen <p><i>Bemerkung:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Als Handballenauflage ist eine Tischfläche vor der Tastatur mit einer Tiefe von 100 bis 150 mm normalerweise ausreichend. Bei individuellen Empfindlichkeiten und anatomischen Besonderheiten kann eine gepolsterte (möglichst flache) Handballenauflage sinnvoll sein. • Als Unterarmauflagen dienen die Armstützen des Bürostuhls. Feste Armstützen sollten wegen der unterschiedlichen Körpermaße der Benutzer nach vorne geneigt sein. Ihre Gestaltung darf die Ausübung der Tätigkeit nicht behindern. Eine bessere Anpassung ermöglichen höhen- und breitenverstellbare Armstützen. 	



Tabelle 18: Fortsetzung

C repetitive Bewegungen		
	Maßnahme	
C I Ermüdung und Belastung durch lang andauernde und schnelle repetitive Bewegungen	<ul style="list-style-type: none"> • Tätigkeit abwechslungsreich gestalten • Mikropausen* einlegen <p><i>Bemerkung:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Die Repetition ist durch Verhältnisprävention – also die Wahl eines ergonomischen Eingabemittels – kaum zu beeinflussen, sondern nur durch Maßnahmen der Verhaltensprävention. <p>*Bei einer Mikropause handelt es sich um eine kurze Pause von nur wenigen Sekunden, während der eine statische Haltung aufgelöst wird und die Muskeln entspannen können.</p>	

4.2.2 Maus

Tabelle 19:
Checkliste Maus

A Abweichung von der Neutralhaltung		
	Maßnahme	
<p>A I</p> <p>Handgelenk-Extension</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Eine Maus mit flachem Anstieg der Wölbung (keine zu hohe Maus) und in passender Größe wählen. <p><i>Bemerkung:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Maus in der richtigen Arbeitshöhe und so positionieren, dass der Tisch als Unterarmauflage dienen kann. 	



Tabelle 19: Fortsetzung

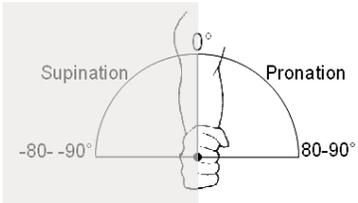
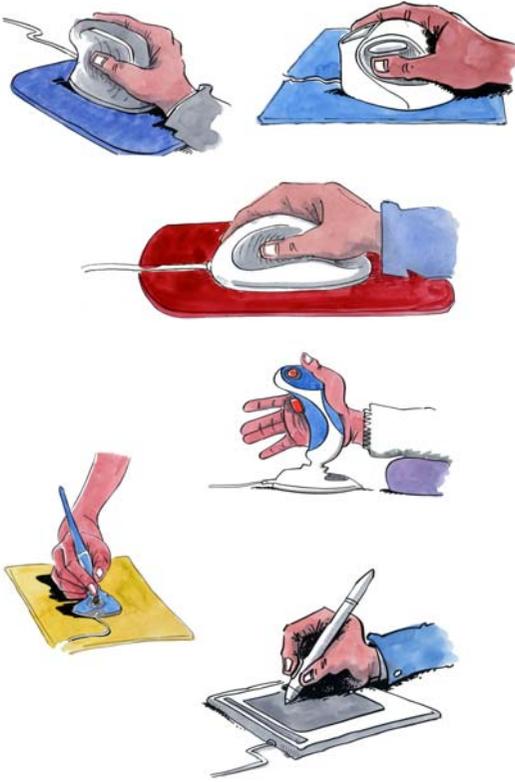
A Abweichung von der Neutralhaltung		
	Maßnahme	
<p>A II</p> <p>Unterarm-Pronation</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Eine Maus mit optimiertem Design oder alternative Zeigegeräte auswählen. <p><i>Bemerkung:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Zeigegeräte, welche die Pronation verringern, sind z. B. Joystick-Maus, Griffelmaus, alternative Mäuse mit nach außen (zur Elle hin) abfallender Form oder Griffel mit Tablettnutzung. • Alternative Zeigegeräte erfordern teilweise eine Eingewöhnungszeit. Die Vorlieben der Benutzer/-innen sollten berücksichtigt werden. • Alternative Zeigeräte müssen in der Regel spezifisch für eine Benutzung mit der rechten oder linken Hand gewählt werden. 	



Tabelle 19: Fortsetzung

A Abweichung von der Neutralhaltung		
	Maßnahme	
<p>A III</p> <p>Arm-Abduktion</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Mausposition (Schulterbreite) verbessern durch: <ul style="list-style-type: none"> ◦ Verwendung einer kompakten Tastatur ohne numerischen Tastenblock ◦ Mausbenutzung mit der linken Hand (bei vorhandenem numerischem Tastenblock) • Mauspad zur Begrenzung des Arbeitsbereiches nutzen • einen Trackball als ortsfestes Zeigegerät nutzen, vgl. Abschnitt 3.4.3, Seite 59 <p><i>Bemerkung:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Ziffernblöcke sind ggf. getrennt von der Tastatur erhältlich. • Mausbenutzung mit der linken Hand braucht etwas Übung. • Während eines Arbeitsvorgangs „wandert“ die Hand mit der Maus oft unbewusst aus dem günstigen Arbeitsbereich hinaus. Die Verwendung eines Mauspads bewirkt eine bewusstere Positionierung der Maus. • Erfordert eine Tätigkeit ausschließlich Mausgebrauch, kann die Tastatur beiseite geschoben werden, sodass ein Arbeiten mit der Maus auf Schulterbreite möglich ist. 	



Tabelle 19: Fortsetzung

A Abweichung von der Neutralhaltung		
	Maßnahme	
A IV Finger-Abduktion	<ul style="list-style-type: none"> • Mausdesign mit individuell geeigneter Tastenanordnung wählen <i>Bemerkung:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Besonders bei Mausdesigns mit zusätzlichen Tasten muss darauf geachtet werden, dass diese in möglichst neutralen Fingerpositionen betätigt werden können. 	
A V verkrampte Fingerhaltung	<ul style="list-style-type: none"> • Maus zur Handgröße passend auswählen <i>Bemerkung:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Bei zu kleinen Mäusen besteht die Gefahr, die Maus mit gebeugten Fingern verkrampt zu halten („krallen“). 	



Tabelle 19: Fortsetzung

B Kraftaufwand		
	Maßnahme	
B I unangemessener Kraftaufwand	<ul style="list-style-type: none"> • Eine Maus mit Tastenauslösekraft zwischen 0,5 und 0,8 N auswählen • Tastenverhalten prüfen • Eine leicht verschiebbare Maus auswählen • Häufiges Anheben der Maus zwecks Positionskorrektur vermeiden <p><i>Bemerkung:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Der zur Tastenbetätigung notwendige Kraftaufwand darf nicht zu hoch, allerdings auch nicht zu gering sein, sonst können die Finger nicht mehr auf den Tasten ruhen, weil die Gefahr einer ungewollten Tastenaktivierung besteht (siehe B II). Es gibt Tasten mit unterschiedlichem Tastenverhalten, Angaben dazu sind beim Hersteller zu erfragen. Nach bisherigen Erkenntnissen ist eine kinästhetische Rückmeldung (ein fühlbarer Druckpunkt) von Vorteil. • Im Allgemeinen ist eine optische Maus leichter verschiebbar als eine Maus mit Rollkugel. Eine Verschmutzung der Mausunterseite und/oder des Arbeitsbereiches kann die Leichtgängigkeit beeinträchtigen. 	



Tabelle 19: Fortsetzung

B Kraftaufwand		
	Maßnahme	
	<ul style="list-style-type: none"> • Häufige Positionskorrekturen der Maus werden durch unbewusstes „Hinauswandern“ aus dem günstigen Arbeitsbereich (siehe A III) oder durch einen zu klein gewählten Arbeitsbereich notwendig. Eine Beseitigung dieser Missstände trägt dazu bei, ein Anheben der Maus zu vermeiden. 	
B II statische Haltung der Finger	<ul style="list-style-type: none"> • Maus mit ausbalanciertem Tastenverhalten zwischen notwendigem Kraftaufwand zur Tastenbetätigung und Auflagemöglichkeit für die Finger auswählen • geeigneteres Mausdesign wählen <p><i>Bemerkung:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Ist der zur Tastenbetätigung notwendige Kraftaufwand zu gering, können wegen der Gefahr einer ungewollten Tastenaktivierung die Finger nicht mehr auf den Tasten ruhend aufliegen. Die Finger müssen also die ganze Zeit über den Tasten gehalten werden, was zu starken lokalen Muskelermüdungen und -beanspruchungen führen kann. • Ist die Maus z. B. zu klein, können die Finger in den Betätigungspausen nicht entspannt darauf ruhen. 	



Tabelle 19: Fortsetzung

B Kraftaufwand		
	Maßnahme	
B III statische Haltung der Arme	<ul style="list-style-type: none">• Maus mit unterstütztem Unterarm benutzen <p><i>Bemerkung:</i></p> <ul style="list-style-type: none">• Mausgröße an die Handgröße anpassen, um ein Aufliegen des Handballens auf der Tischfläche zu ermöglichen.• Als Unterarmauflagen dienen die Armstützen des Bürostuhls. Feste Armstützen sollten wegen der unterschiedlichen Körpermaße der Benutzer nach vorne geneigt sein. Ihre Gestaltung darf die Ausübung der Tätigkeit nicht behindern. Eine bessere Anpassung ermöglichen höhen- und breitenverstellbare Armstützen.• Die Mausbewegungsfläche (Mauspad) sollte sich auf Höhe der Tastatur befinden.	



Tabelle 19: Fortsetzung

C repetitive Bewegungen		
	Maßnahme	
C I lang andauernde Maus- benutzung	<ul style="list-style-type: none"> • Tätigkeiten abwechslungsreich gestalten • Maus abwechselnd mit rechter und linker Hand benutzen • Unterschiedliche Eingabemittel, z. B. Tastatur (Short-Cuts, Cursorstasten), alternative Zeigegeräte wie Joystick-Maus, Griffelmaus, Trackballs, Griffel mit Tablett usw. verwenden • Geeignete Software einsetzen <p><i>Bemerkung:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Die Mausbenutzung mit der nicht dominanten Hand braucht etwas Übung. Erfahrungsgemäß können praktisch ohne Probleme von Beginn an grob motorische Bewegungen – wie Scrollen oder auf große Felder klicken – mit der nicht dominanten Hand ausgeführt werden. • Es gibt Tastaturen mit Tastenfunktionen, die teils den Mausgebrauch ersetzen können. Durch geeignete Software kann z. B. das Doppelklicken der Maus durch ein einfaches Klicken ersetzt oder das Einrichten von Short-Cuts auf der Tastatur unterstützt werden. 	



5 Schlussfolgerungen und Ausblick

Auf Initiative der Verwaltungs-Berufsgenossenschaft (VBG) wurde eine Literaturstudie durchgeführt, um den Wissensstand zur Ergonomie von Computer-Eingabemitteln und deren Überprüfung anhand biomechanischer und physiologischer Kriterien zusammenzustellen. Dazu wurden Informationen aus Studien über Tastaturen, Mäuse, Trackballs, Griffel mit Tablettnutzung und Hand-/Armauflagen zusammengetragen.

Üblicherweise können bei Beachtung aller in der BGI 650 „Bildschirm- und Büroarbeitsplätze – Leitfaden für die Gestaltung“ gegebenen Informationen arbeitsbedingte Gesundheitsgefahren und das Auftreten von arbeitsbezogenen Beschwerden im Muskel-Skelett-System der Hand, des Arms, der Schulter und des Nackens vermieden werden. In Einzelfällen, insbesondere bei aus außerberuflicher Ursache akut oder chronisch erkrankten Mitarbeitern, werden jedoch Beschwerden und Beeinträchtigungen bei der Benutzung von Eingabemitteln durch repetitive Bewegungen oder lang anhaltende muskuläre Anspannungen in ungünstigen Haltungen registriert.

Um in so gelagerten individuellen Fällen die Belastungen möglichst gering zu halten, ist es wichtig, Computer-Eingabemittel in nahezu neutralen Körperhaltungen und mit geringeren Muskelaktivitäten benutzen zu können. Dies kann man durch entsprechende Designs und günstige Positionen der Eingabemittel sowie durch gute Arbeitstechniken unterstützen:

- Tastatur: Ein ergonomisches Design mit auswärts gedrehten und leicht zelförmig geneigten Tastaturhälften hat eine neutralere Hand- und Unterarmhaltung zur Folge. Im Unterschied zu den Angaben in den Normen ergab sich aus Studien, dass eine negative Neigung der Tastatur empfehlenswert ist. Alle Studien beschränkten sich auf Untersuchungen mit Testpersonen, die das Schreiben im Zehn-Finger-System beherrschten.
- Maus: Es wird empfohlen, die Maus möglichst in Schulterbreite und somit dicht an der Tastatur zu benutzen. Eine Kombination der Maus mit einer Tastatur ohne numerischen Tastenblock ermöglicht eine neutralere Körperhaltung. Ebenfalls empfehlenswert ist eine Nutzung der Maus mit der linken Hand.



- Trackball und Griffel mit Tablettnutzung können sinnvolle Alternativen zur Maus sein.
- Hand-/Armauflage: Es wird empfohlen, den Unterarm beim Gebrauch eines Eingabemittels abzustützen. Über die Größe der Auflage konnten keine einheitlichen Angaben gefunden werden. In den Studien, deren Ergebnisse kontroverse oder negative Beurteilungen der Unterarmauflagen dokumentieren, wurden oft mehr oder weniger komplizierte Konstruktionen benutzt [32; 99 bis 101]. Insbesondere wenn die Arbeitsposition öfter gewechselt wird, können aufwendige Konstruktionen stören [103]. Die Unterarme (oder zumindest Teile der Unterarme) auf dem Schreibtisch aufzulegen, indem die Tastatur von der Tischkante zurückgeschoben wird, scheint durchaus zu genügen und sollte daher in der ergonomischen Arbeitsplatzkonzeption Berücksichtigung finden (vgl. auch Checkliste Tastatur, B III, Seite 79).

Bei sämtlichen Interventionen zum Gebrauch von Eingabemitteln muss die Gesamt-ergonomie des Arbeitsplatzes im Auge behalten werden. Außerdem ist zu beachten, dass eine Lösung nicht für alle Benutzer/-innen gleich gut ist. Individuelle Arbeitstechniken, Anthropometrien, unterschiedliche Vorlieben und verschiedene Arbeitsaufgaben beeinflussen die Haltung und den Gebrauch von Eingabemitteln.

Als Ergebnis der Literaturstudie wurden biomechanische und physiologische Kriterien in Form einer Checkliste für den Tastatur- und Mausgebrauch zusammengestellt, die z. T. auch Anregungen zur Diskussion der Normen geben. Ausgehend von den Ergebnissen der Literaturstudie könnten weiterführende Projekte, die sich mit einer korrekten Umsetzung der negativen Tastaturneigung und einer Untersuchung zur idealen Größe einer Armauflage befassen, sinnvoll sein.



6 Stichwortverzeichnis und Abkürzungen

Erläuterung zu	Seite
Abduktion.....	18
Adduktion.....	18
Auslösepunkt.....	17
Außenrotation	20, 21
Auswärtsdrehung der Tastaturhälften.....	16
EMG = Elektromyografie/Elektromyogramm	23
Extension.....	19, 21
Flexion	19, 21
Innenrotation.....	21
Kraftaufwand	23
laterale Tastaturneigung	16
MVC = maximal voluntary contraction	23
Neutral-Null-Methode	18
Pronation	20
Rampenfunktion	17
repetitive Bewegungen	22
Schnappfunktion.....	17
statische Körperhaltungen	22
Supination.....	20
Tastaturneigung.....	15
Tastenweg.....	16
Trackball = Rollkugel	17
ungünstige Körperhaltungen.....	21, 22
RVC = reference voluntary contraction.....	23



7 Literaturverzeichnis

- [1] *Lassen, C. F.; Mikkelsen, S.; Kryger, A. I.; Andersen, J. H.*: Risk factors for persistent elbow, forearm and hand pain among computer workers. *Scand. J. Work Environm. Health* 31 (2005), S. 122-131
- [2] *Luttmann, A.; Kylian, H.; Schmidt, K.; Jäger, M.*: Feldstudie zu Muskelbeanspruchung und Beschwerden bei ganztägiger Büroarbeit. *ErgoMed*. 5 (2003), S. 149-155
- [3] *Woods, V.; Hastlings, S.; Buckle, P.; Haslam, R.*: Ergonomics of using a mouse or other non-keyboard input device. Hrsg.: University of Surrey and Loughborough University 2002
- [4] *Tittiranonda, P.; Martin, B.; Burastero, S.*: Comparison of muscle activity during use of computer pointing devices in cad operators. In: Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society. 44th Annual Meeting, 29. Juli bis 4. August 2000, San Diego, USA. S. 633-636
- [5] *Gilad, I.; Harel, S.*: Muscular effort in four keyboard designs. *Int. J. Ind. Ergon.* 26 (2000), S. 1-7
- [6] *Szeto, G.; Straker, L.; O'Sullivan, P.*: The effects of speed and force of keyboard operation on neck-shoulder muscle activities in symptomatic and asymptomatic office workers. *Int. J. Ind. Ergon.* 35 (2005), S. 429-444
- [7] *Gerard, M.; Armstrong, T.; Foulke, J.; Martin, B.*: Effects of key stiffness on force and the development of fatigue while typing. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 57 (1996), S. 849-854
- [8] DIN EN ISO 9241-400: Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 400: Grundsätze und Anforderungen für physikalische Eingabegeräte (5/2007). Beuth, Berlin 2007
- [9] DIN EN ISO 9241-4: Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten – Teil 4: Anforderungen an die Tastatur. Beuth, Berlin 1999
- [10] DIN EN ISO 9241-5: Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten – Teil 5: Anforderungen an Arbeitsplatzgestaltung und Körperhaltung. Beuth, Berlin 1999
- [11] DIN EN ISO 9241-9: Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten – Teil 9: Anforderungen an Eingabemittel – ausgenommen Tastaturen. Beuth, Berlin 2002
- [12] ISO/FDIS 9241-410 (Norm-Entwurf): Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 410: Gestaltungskriterien für physikalische Eingabegeräte (11/2007). Beuth, Berlin 2007



- [13] *Krueger, H.*: Arbeit mit dem Bildschirm. Kapitel IV – 9.2.1. S. 1-42. In: *Konietzko, J.; Dupuis H.*: Handbuch der Arbeitsmedizin. 9. Erg.-Lfg. Landsberg am Lech, ecomed 2002 – Losebl.-Ausg.
- [14] Berufsgenossenschaftliche Information: Bildschirm- und Büroarbeitsplätze – Leitfaden für die Gestaltung (BGI 650). Hrsg.: Verwaltungs-Berufsgenossenschaft (VBG), BC Verlags- und Mediengesellschaft, Wiesbaden 2004
- [15] Guidelines to the selection and purchase of workstation furniture and equipment. Hrsg.: Human Resource Management Division (HRM), Hamilton, New Zealand. www.waikato.ac.nz/hrm/internal/policy/purchase.html (3.11.2003)
- [16] Workstation risk assessment questionnaire – health and safety (display screen equipment) regulations 1992. Hrsg.: Health and Safety Executive (HSE), London. www.hse.gov.uk/lau/lacs/16-1.htm (7.10.2003)
- [17] Ergonomics for the prevention of musculoskeletal disorders. Hrsg.: Swedish National Board of Occupational Safety and Health, Solna, Schweden 1998
- [18] Guideline on office ergonomics, CSA-Z412. Hrsg.: Canadian Standards Association (CSA) International, Toronto, Kanada 2000
- [19] DIN EN 1005-1: Menschliche körperliche Leistung, Teil 1: Begriffe. Beuth, Berlin 2002
- [20] *Kilbom, Å.*: Repetitive work of the upper extremity: Part I – Guidelines for the practitioner. *Int. J. Ind. Ergon.* 14 (1994), S. 51-57
- [21] *Luttmann, A.*: Untersuchung von Muskelbeanspruchung und -ermüdung mit Hilfe der Oberflächen-Elektromyographie, Teil 1: Physiologische Grundlagen und EMG-Kenngrößen. *Zentralbl. Arbeitsmed.* 51(2001), S. 426-442
- [22] *Luttmann, A.; Jäger, M.; Laurig, W.*: Untersuchung von Muskelbeanspruchung und -ermüdung mit Hilfe der Oberflächen-Elektromyographie, Teil 2: Anwendung in arbeitsphysiologischen Feldstudien. *Zentralbl. Arbeitsmed.* 51 (2001), S. 443-461
- [23] Richtlinie 90/270/EWG des Rates vom 29. Mai 1990 über die Mindestvorschriften bezüglich der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes bei der Arbeit an Bildschirmgeräten (Fünfte Einzelrichtlinie im Sinne von Artikel 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG). *ABI. EG Nr. L 156* vom 21. Juni 1990, S. 14-18; zul. geänd. am 3. Januar 1994, *ABI. EG Nr. L 001*, S. 484. Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Arbeit an Bildschirmgeräten (Bildschirmarbeitsverordnung – BildscharbV) in Kraft getreten am 20.12.1996, *BGBI. I* (1996), S.1841
- [24] *Marklin, R. W.; Simoneau, G. G.*: Design features of alternative computer keyboards: A review of experimental data. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* 34 (2004), S. 638-649

- [25] *Simoneau, G. G.; Marklin, R. W.; Berman, J. E.*: Effect of computer keyboard slope on wrist position and forearm electromyography of typists without musculoskeletal disorders. *Phys. Ther.* 83 (2003) S. 816-830
- [26] *Strasser, H.; Fleischer, R.; Keller, E.*: Muscle strain of the hand-arm-shoulder system during typing at conventional and ergonomic keyboards. *Occup. Ergon.* 4 (2004), S. 105-119
- [27] *Zecevic, A.; Miller, D.; Harburn, K.*: An evaluation of the ergonomics of three computer keyboards. *Ergonomics* 43 (2000), S. 55-72
- [28] *Woods, M.; Babski-Reeves, K.*: Effects of negatively sloped keyboard wedges on risk factors for upper extremity work-related musculoskeletal disorders and user performance. *Ergonomics* 48 (2005), S. 1793-1808
- [29] *Tittiranonda, P.; Rempel, D.; Armstrong, T.; Burastero, S.*: Workplace use of an adjustable keyboard: adjustment preferences and effect on wrist posture. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 60 (1999), S. 340-348
- [30] *Simoneau, G. G.; Marklin, R. W.*: Effect of computer keyboard slope and height on wrist extension angle. *Hum. Factors* 43 (2001), S. 287-298
- [31] *Stack, B.*: Keyboard RSI: the practical solution. Muden Publishing Company, Tasmania 1987
- [32] *Hedge, A.; Powers, J.*: Wrist postures while keyboarding: effects of a negative slope keyboard system and full motion forearm supports. *Ergonomics* 38 (1995), S. 508-517
- [33] *Cail, F.; Aptel, M.*: Biomechanical stresses in computer-aided design and in data entry. *Int. J. Occup. Saf. Ergon.* 9 (2003), S. 235-255
- [34] *Marcus, M.; Gerr, F.; Monteilh, C.; Ortiz, D. J.; Gentry, E.; Cohen, S.; Edwards, A.; Ensor, C.; Kleinbaum, D.*: A prospective study of computer users: II. Postural risk factors for musculoskeletal symptoms and disorders. *Am. J. Ind. Med.* 41 (2002), S. 236-249
- [35] *Swanson, N.; Galinsky, T.; Cole, L.; Pan, C.; Sauter, S.*: The impact of keyboard design on comfort and productivity in a test-entry task. *Appl. Ergon.* 28 (1997), S. 9-16
- [36] *McLoone, H.; Jacobsen, M.*: Innovation and design process for a fixed-split ergonomic keyboard. Hrsg.: Microsoft Corporation, USA
- [37] *Zipp, P.; Haider, E.; Halpern, N.; Rohmert, W.*: Keyboard design through physiological strain measurements. *Appl. Ergon.* 14 (1983), S. 117-122
- [38] *Tittiranonda, P.; Rempel, D.; Armstrong, T.; Burastero, S.*: Effect of four computer keyboards in computer users with upper extremity musculoskeletal disorders. *Am. J. Ind. Med.* 35 (1999), S. 647-661



- [39] Anonymus: Der Trick mit dem Knick – Ergonomische PC-Tastaturen. Test (1996) Nr. 7, S. 40-44
- [40] *Fagarasanu, M.; Kumar, S.; Narayan, Y.*: The training effect on typing on two alternative keyboards. *Int. J. Ind. Ergon.* 35 (2005), S. 509-516
- [41] *Nelson, J.; Treaster, D.; Marras, W.*: Finger motion, wrist motion and tendon travel as a function of keyboard angles. *Clin. Biomech.* 15 (2000), S. 489-498
- [42] *Treaster, D.; Marras, W.*: An assessment of alternate keyboards using finger motion, wrist motion and tendon travel. *Clin. Biomech.* 15 (2000), S. 499-503
- [43] *Gerard, M.; Armstrong, T.; Franzblau, A.; Martin, B.; Rempel, D.*: The effect of keyswitch stiffness on typing force, finger electromyography, and subjective discomfort. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 60 (1999), S. 762-769
- [44] *Rempel, D.; Tittiranonda, P.; Burastero, S.; Hudes, M.; So, Y.*: Effect of keyboard keyswitch design on hand pain. *J. Occup. Environm. Med.* 41 (1999), S. 111-119
- [45] *Johnson, P.; Hagberg, M.; Hjelm, E.; Rempel, D.*: Measuring and characterizing force exposures during computer mouse use. *Scand. J. Work Environm. Health* 26 (2000), S. 398-405
- [46] *Blatter, B.; Bongers, P.*: Duration of computer use and mouse use in relation to musculoskeletal disorders of neck or upper limb. *Int. J. Ind. Ergon.* 30 (2002), S. 295-306
- [47] *Dowell, W.; Fei, Y.; Green, B.*: Office seating behaviours: an investigation of posture, task, and job type. In: *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society. 45th Annual Meeting, 8.-12. Oktober 2001, Minneapolis, USA.* S. 1245-1248
- [48] *Cook, C. K.*: Influence of mouse position on muscular activity in the neck, shoulder and arm in computer users. *Appl. Ergon.* 29 (1998), S. 439-443
- [49] *Jensen, C.; Borg, V.; Finsen, L.; Hansen, K.; Juul-Kristensen, B.; Christensen, H.*: Job demands, muscle activity and musculoskeletal symptoms in relation to work with the computer mouse. *Scand. J. Work Environm. Health* 24 (1998), S. 418-424
- [50] *Karlqvist, L.; Hagberg, M.; Selin, K.*: Variation in upper limb posture and movement during word processing with and without mouse use. *Ergonomics* 37 (1994), S. 1261-1267
- [51] *Keir, P.; Bach, J.; Rempel, D.*: Effects of computer mouse design and task on carpal tunnel pressure. *Ergonomics* 42 (1999), S. 1350-1360
- [52] *Wahlström, J.*: Physical load in computer mouse work. Hrsg.: National Institute for Working Life, Stockholm 2001



- [53] *Delisle, A.; Imbeau, D.; Santos, B.; Plamondon, A.; Montpetit, Y.*: Left-handed versus right-handed computer mouse use: effect on upper-extremity posture. *Appl. Ergon.* 35 (2004), S. 21-28
- [54] *Thomsen, J.*: Carpal tunnel syndrome and the use of computer mouse and keyboard. Hrsg.: Dansk Selskab for Arbejds- og Miljømedicin, Glostrup 2005
- [55] *Burgess-Limerick, R.; Shemmell, J. S.*: Wrist posture during computer pointing device use. *Clin. Biomech.* 14 (1999), S. 280-286.
- [56] *Çakir, A.*: RSI oder Mausarm – ein Standard macht krank! *Computer-Fachwissen* (2004) Nr. 9, S. 4-8
- [57] *Aaras, A.; Ro, O.*: Position of the forearm and VDU work. In: Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society. 44th Annual Meeting, 29. Juli – 4. August 2000, San Diego, USA. S. 648-649
- [58] *Aaras, A.; Dainoff, M.; Ro, O.; Thoresen, M.*: Can a more neutral position of the forearm when operating a computer mouse reduce the pain level for visual display unit operators? A prospective epidemiological intervention study: part II. *Int. J. Hum.-Comput. Interaction* 13 (2001), S. 13-40
- [59] *Aaras, A.; Ro, O.*: Workload when using a mouse as an input device. *Int. J. Hum.-Comput. Interactions* 9 (1997), S. 105-118
- [60] *Gustafsson, E.; Hagberg, M.*: Computer mouse use in two different hand positions: exposure, comfort, exertion and productivity. *Appl. Ergon.* 34 (2003), S.107-113
- [61] *Ullman, J.; Kangas, N.; Ullman, P.; Wartenberg, F.; Ericson, M.*: A new approach to the mouse arm syndrome. *Int. J. Occup. Saf. Ergon.* 9 (2003), S. 463-477
- [62] *Smith, W.; Edmiston, B.; Cronin, D.*: Ergonomic test of two hand-contoured mice. Hrsg.: Global Ergonomic Technologies, Palo Alto, California 1997
- [63] *Pekelney, R.; Chu, R.*: Design criteria of an ergonomic mouse computer input device. In: Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society. 39th Annual Meeting, 9.-13. Oktober 1995, San Diego, USA. S. 369-373
- [64] *Lee, D.; Fleisher, J.; McLoone, H.; Kotani, K.; Dennerlein, J.*: Alternative computer mouse design to reduce static finger extensor muscle activity. *Hum. Factors* 49 (2007) Nr. 4, S. 573-584
- [65] *Hedge, A.; Muss, T.; Barrero, M.*: Comparative study of two computer mouse designs. Hrsg.: Cornell University, Ithaca, 1999
- [66] *Dennerlein, J.; Johnson, P.*: Positions of the computer mouse within a thousand workstations. In: Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society. 47th Annual Meeting, 13.-17. Oktober 2003, Denver, USA. S. 1279-1282



- [67] *Harvey, R.; Peper, E.*: Surface electromyography and mouse use position. *Ergonomics* 40 (1997), S. 781-789
- [68] *Karlqvist, L.; Bernmark, E.; Ekenvall, L.; Hagberg, M.; Isaksson, A.; Rosto, T.*: Computer mouse position as a determinant of posture, muscular load and perceived exertion. *Scand. J. Work Environm. Health* 24 (1998), S. 62-73
- [69] *Mierdel, B.*: Belastung des Hand-Arm-Systems durch Benutzung der Computermouse – Gestaltung einer alternativen Bedienfläche. *Wiss. Z. TU Dresden* 42 (1993), S. 42
- [70] *Ackland, T.; Hendrie, G.*: Training the non-preferred hand for fine motor control using a computer mouse. *Int. J. Ind. Ergon.* 35 (2005), S. 149-155
- [71] *Peters, M.; Ivanoff, J.*: Performance asymmetries in computer mouse control of right-handers, and left-handers with left- and right-handed mouse experience. *J. Mot. Behav.* 31 (1999), S. 86-94
- [72] *Kabbash, P.; MacKenzie, I. S.; Buxton, W.*: Human performance using computer input devices in the preferred and non-preferred hands. *Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems – INTERCHI*, New York (1993)
- [73] *Hoffmann, E.; Chang, W.; Yim, K.*: Computer mouse operation: is the left-handed user disadvantaged? *Appl. Ergon.* 28 (1997), S. 245-248
- [74] *Dennerlein, J.; Yang, M.*: Perceived musculoskeletal loading during use of a force-feedback computer mouse. In: *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society. 43rd Annual Meeting. 1999, Houston, USA*
- [75] <http://www.exmouse.com>, 30.11.2006
- [76] *Kliwer, B.*: More than upside-down mice. *Byte* 15 (1990), S. 175-180
- [77] *Lorenz, J.*: Auf Mäusejagd. Tablets, Trackballs und andere Spezialitäten. Eingabegeräte. *Chip, Das Mikrocomputer-Magazin* (1992) Nr. 9, S. 134-148
- [78] *Bertuca, D.*: Letting go of the mouse: using alternative computer input devices to improve productivity and reduce injury. *OCLC Systems und Services* 17 (2001), S. 79-83
- [79] *Burgess-Limerick, R.; Green, B.*: Using multiple case studies in ergonomics: an example of pointing device use. *Int. J. Ind. Ergon.* 26 (2000), S. 381-388
- [80] *Karlqvist, L.; Bernmark, E.; Ekenvall, L.; Hagberg, M.; Isaksson, A.; Rosto, T.*: Computer mouse and track-ball operation: Similarities and differences in posture, muscular load and perceived exertion. *Int. J. Ind. Ergon.* 23 (1999) S. 157-169
- [81] *Morag, I.; Shinar, D.; Saat, K.; Osbar, A.*: Trackball modification based on ergonomic evaluation: a case study in the sociology of ergonomics in Israel. *Int. J. Ind. Ergon.* (2005), S. 537-546

- [82] *Hsu, P.; Wang, M.*: Trackball evaluation under different tasks. Hrsg.: Department of Industrial Engineering and Engineering Management, National Tsing-Hua University, Taiwan
- [83] *Chaparro, A.; Bohan, M.; Fernandez, J.; Kattel, B.; Choi, S.*: Is the trackball a better input device for the older computer user? *J. Occup. Rehab.* 9 (1999), S. 33-43
- [84] *Chase, D.; Casali, S.*: A comparison of three cursor control devices on a cursor control benchmark task. Hrsg.: Industrial and Systems Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University Blacksburg, 1991
- [85] *Hancock, P.*: Effects of control order, augmented feedback, input device and practice on tracking performance and perceived workload. *Ergonomics* 39 (1996), S. 1146-1162
- [86] *MacKenzie, I.; Sellen, A.; Buxton, W.*: A comparison of input devices in elemental pointing and dragging tasks. In: Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society. 35th Annual Meeting, 2.-6. September 1991, San Francisco, USA. S. 161-166
- [87] *Zöller, H.; Konheisner, S.*: Fitts' Gesetz bei Maus und Trackball: ein experimenteller Test zur ergonomischen Bewertung von Computereingabegeräten. Hrsg.: Institut für allgemeine und angewandte Psychologie, Universität Münster 1999
- [88] *Woods, V.; Hastings, S.; Buckle, P.; Haslam, R.*: Development of non-keyboard input device checklists through assessments. *Appl. Ergon.* 34 (2003), S. 511-519
- [89] *Keuning, H.; Monne, T. K.; IJsselsteijn, W. A.; Houtsma, A. J.*: The form of augmented force-feedback fields and the efficiency and satisfaction in computer-aided pointing tasks. *Hum. Factors* 47 (2005), S. 418-429
- [90] Comparison of postures from pen and mouse use. Hrsg.: Global Ergonomic Technologies, Guerneville, USA 1998
- [91] *Wu, F.; Luo, S.*: Performance study on touch-pens size in three screen tasks. *Appl. Ergon.* 37 (2006), S. 149-158
- [92] *Kotani, K.; Horii, K.*: An analysis of muscular load and performance in using a pen-tablet system. *J. Physiol. Anthropol. Appl. Human Sci.* 22 (2003), S. 89-95
- [93] *Wu, F.; Luo, S.*: Design and evaluation approach for increasing stability and performance of touch pens in screen handwriting tasks. *Appl. Ergon.* 37 (2006), S. 319-327
- [94] *Coll, R.; Zia, K.; Coll, J.*: A comparison of three computer cursor control devices: pen on horizontal tablet, mouse and keyboard. *Information and Management* 27 (1994) Nr. 6, S. 329-339



- [95] Aaras, A.; Fostervold, K.; Ro, O.; Thoresen, M.; Larsen, S.: Postural load during VDU work: a comparison between various work postures. *Ergonomics* 40 (1997), S. 1255-1268
- [96] Cook, C.; Burgess-Limerick, R.: The effect of forearm support on musculoskeletal discomfort during call centre work. *Appl. Ergon.* 35 (2004), S. 337-342
- [97] Cook, C.; Burgess-Limerick, R.; Papalia, S.: The effect of upper extremity support on upper extremity posture and muscle activity during keyboard use. *Appl. Ergon.* 35 (2004), S. 285-292
- [98] Delisle, A.; Larivière, C.; Plamondon, A.; Jetté, C.; Marchand, D.; Stock, S.: The effect of forearm support during computer work: a field study. In: Pikaar, R. N.; Koningsveld, E. A.; Settels, P. J. (Hrsg.): Proceedings of the 16th World Congress of the International Ergonomics Association (IEA). 10.-14. Juli 2006, Maastricht, Niederlande. Elsevier, Amsterdam 2006
- [99] Erdelyi, A.; Sihvonen, T.; Helin, P.; Hanninen, O.: Shoulder strain in keyboard workers and its alleviation by arm supports. *Int. Arch. Occup. Environm. Health* 60 (1988), S. 119-124
- [100] Feng, Y.; Grooten, W.; Wretenberg, P.; Arborelius, U.: Effects of arm support on shoulder and arm muscle activity during sedentary work. *Ergonomics* 40 (1997), S. 834-848
- [101] Fernström, E.; Ericson, M.: Computer mouse or trackpoint – effects on muscular load and operator experience. *Appl. Ergon.* 28 (1997), S. 347-354
- [102] Hasegawa, T.; Kumashiro, M.: Effects of armrests on workload with ten-key operation. *Appl. Hum. Sci.* 17 (1998), S. 123-129
- [103] Lintula, M.; Nevala-Puranen, N.; Louhevaara, V.: Effects of Ergorest arm supports on muscle strain and wrist positions during the use of the mouse and keyboard in work with visual display units: a work site intervention. *Int. J. Occup. Saf. Ergon.* 7 (2001), S. 103-116
- [104] Rempel, D.; Krause, N.; Goldberg, R.; Benner, D.; Hudes, M.; Goldner, G.: A randomised controlled trial evaluating the effects of two workstation interventions on upper body pain and incident musculoskeletal disorders among computer operators. *Occup. Environm. Med.* 63 (2006), S. 300-306
- [105] Smith, M.; Karsh, B.; Conway, F.; Cohen, W.; James, C.; Morgan, J.; Sanders, K.; Zehel, D.: Effects of a split keyboard design and wrist rest on performance, posture, and comfort. *Hum. Factors* 40 (1998), S. 324-336
- [106] Sillanpää, J.N.; Uitti, J.; Takala, E.; Kivi, P.; Kilpikari, I.; Laippala, P.: Muscular activity in relation to support of the upper extremity in work with a computer mouse. *Int. J. Hum.-Comp. Interaction* 15 (2003), S. 391-406



-
- [107] *Visser, B.; de Korte, E.; van der Kraan, I.; Kuijer, P.*: The effect of arm and wrist supports on the load of the upper extremity during VDU work. *Clin. Biomech.* 15 (2000), S. 34-38
- [108] *Bendix, T.; Jessen, F.*: Wrist support during typing – a controlled, electromyographic study. *Appl. Ergon.* 17 (1986), S. 162-168
- [109] *van Lingen, P., de Korte, E. M., de Kraker, H.*: Keuzegids Invoermiddelen voor Computerwerk. Hrsg.: TNO Arbeid, Zeist, 2003



Anhang

Im Folgenden sind Inhaltsangaben zur Literatur über Tastatur, Maus, Trackball, Griffel mit Tablettnutzung und Hand-/Armauflage zu finden. Mehrheitlich handelt es sich um Literaturstellen, auf die in diesem Report Bezug genommen wurde. Von einigen wenigen nicht zitierten Artikeln werden zusätzlich Inhaltsangaben aufgeführt, da diese, auch wenn sie nicht explizit im Bericht erwähnt wurden, zum allgemeinen Ergebnis beigetragen haben. Diese Literaturstellen sind an den fehlenden Zahlenangaben in der Spalte „Nr.“ zu erkennen.



Anhang A: Inhalt der Literatur – Tastatur

Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
Anonymus: Der Trick mit dem Knick – Ergonomische PC-Tastaturen. Test (1996) Nr. 7, S. 40-44	39	<p>Von 50 Testpersonen wurden acht ergonomische Tastaturen getestet.</p> <p>Drei Grundeinstellungen für entspanntes Arbeiten wurden als wichtig erachtet: laterale Neigung, positive Neigung und Auswärtsdrehung der Tastaturhälften.</p> <p>Einfachste Lösung: ergonomisch geformte, aber nicht verstellbare Tastaturen</p> <p>Zusammenfassend: Die Mehrzahl der Testpersonen würde gerne eine ergonomische Tastatur benutzen. Knapp die Hälfte fühlte sich nach den Schreibversuchen mit Ergotastaturen in Schultern, Armen und Handgelenken geringer belastet als nach dem Schreiben an herkömmlichen Modellen. Gut ein Drittel bemerkte keinen Unterschied.</p>	kein wissenschaftlicher Artikel
<p><i>Cail, F.; Aptel, M.:</i> Biomechanical stresses in computer-aided design and in data entry. Int. J. Occup. Saf. Ergon. 9 (2003), S. 235-255</p>	33	<p>Folgende Untersuchungen wurden mit 56 Testpersonen durchgeführt: Fragebogen zu Beschwerden und Arbeitsorganisation, ergonomische Untersuchung (z. B. Arbeitsplatzgestaltung), EMG (Flexoren der Hand und Finger, Extensoren des Handgelenks, <i>M. trapezius</i>), Elektrogoniometrie (Haltungen des Handgelenks bezüglich Extension/Flexion und Ulnar-, Radialduktion), Videoaufnahmen (Abduktion des rechten Arms von hinten), Anzahl repetitiver Bewegungen im Handgelenk.</p> <p>Die Messungen fanden am Arbeitsplatz statt, wurden zwei- bis dreimal durchgeführt und dauerten jeweils 10 Minuten. Einerseits wurden Dateneingaben (nur Frauen), andererseits weitere computerunterstützte Arbeiten (CAD) (nur Männer) untersucht. Im Schnitt wurde täglich ca. 6,5 Stunden am Computer gearbeitet, bei der Dateneingabe vorwiegend mit der Tastatur (62 % Tastatur, 12 % Maus), bei CAD mit der Maus (81 %; 10 % Tastatur).</p> <p>Dateneingabe: 42 % der Probandinnen benutzten eine Handgelenkunterstützung bei der Tastatur, während Mausgebrauchs lag der Unterarm bei 93 % der Probandinnen auf dem Schreibtisch.</p> <p>CAD: Bei der Mausbenutzung lag der Unterarm bei 80 % der Probanden auf dem Arbeitstisch. 20 % der Probanden benutzten für die Tastatur eine Handgelenkunterstützung.</p> <p>Mausposition: Distanz zwischen Benutzern und Maus lag im Schnitt bei 40 cm. Ca. die Hälfte der Testpersonen war der Ansicht, dass sie mit einer zu weit vom Körper entfernten Maus arbeiteten.</p>	2



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
		<p>Beschwerden: 50 % der Probandinnen (Dateneingabe) und 33 % der Probanden (CAD) gaben Beschwerden im Bereich der Halswirbelsäule an, 62 bzw. 43 % im Bereich der rechten oberen Extremität, 35 bzw. 10 % im Bereich der linken oberen Extremitäten.</p> <p>Haltungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Handgelenk-Extension: Tastatur: Dateneingabe $33 \pm 8^\circ$, CAD $28 \pm 6^\circ$ Maus: Dateneingabe $26 \pm 10^\circ$, CAD $33 \pm 8^\circ$ • Ulnarduktion: Maus: Dateneingabe $-5 \pm 6^\circ$, CAD $-6 \pm 11^\circ$ Tastatur: Dateneingabe $0 \pm 5^\circ$, CAD: $10 \pm 9^\circ$ • Schulterabduktion: Maus: Dateneingabe $30 \pm 1^\circ$, CAD $34 \pm 4^\circ$ Tastatur: Dateneingabe $25 \pm 8^\circ$, CAD: $24 \pm 5^\circ$ <p>(Die Werte fielen im Vergleich zu anderen Studien teils so hoch und unterschiedlich aus, weil die Möbel nicht individuell angepasst werden konnten.)</p> <p>EMG: Bei den Flexoren gab es signifikante Unterschiede zwischen Dateneingabe (Maus 6 % MVC, Tastatur 13 % MVC) und CAD (Maus 19 % MVC, Tastatur 24 % MVC). (Dieser Unterschied kann daher rühren, dass bei der Dateneingabe nur Frauen, bei CAD nur Männer gemessen wurden.)</p> <p>Wiederholungen (repetitive Bewegungen): Dateneingabe erforderte signifikant höhere repetitive Bewegungen.</p> <p>Individuelle Variabilität: Sowohl in der Kraft als auch in den Haltungen war ein großer individueller Unterschied festzustellen.</p> <p>Zusammenhang zwischen Beschwerden und biomechanischen Messungen: Während der Dateneingabe mit der Tastatur konnte bei Testpersonen mit Beschwerden im Handgelenk eine signifikant höhere Extension (37°) als bei denen ohne Beschwerden (26°) nachgewiesen werden.</p> <p>Zusammenfassend: Stress bei der Mausbenutzung wird vor allem durch die Schulterhaltung, bei der Tastatur durch die hohen repetitiven Bewegungen und die muskuläre Belastung in den Schultern hervorgerufen. Diese Studie konnte einen Zusammenhang zwischen Beschwerden im Handgelenk und der Größe der Handgelenk-Extension nachweisen. Es sind große individuelle Unterschiede festzustellen.</p>	



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
<p><i>Fagarasanu, M.; Kumar, S.; Narayan, Y.: The training effect on typing on two alternative keyboards. Int. J. Ind. Ergon. 35 (2005), S. 509-516</i></p>	40	<p>Problematisch ist die Untersuchung bei CAD nur mit männlichen und bei Dateneingabe nur mit weiblichen Testpersonen.</p> <p>Mit 30 Testpersonen wurde der Einfluss eines Trainings von acht Stunden Texteingabe untersucht. Dabei wurden drei verschiedene Tastaturen verwendet:</p> <ul style="list-style-type: none"> • A: Standard • B: Tastatur mit Ausdrehwinkel (12°), lateraler Neigung (10°), zentralem Nummernpad • C: Tastatur mit veränderbarem Ausdrehwinkel und lateraler Neigung (Messung mit 25° Ausdrehwinkel, 0° lateraler Neigung). <p>Gemessen wurden Körperhaltungen (Elektrogoniometer), Muskelaktivitäten (EMG), Kraft und Performance.</p> <p>Performance: Das Training hatte signifikante Effekte auf die Schreib-Performance. Nach acht Stunden Training wurde die Schreibgeschwindigkeit bei Tastatur B von 30 auf 44 %, bei Tastatur C von 60 auf 89 % gesteigert. Dies entspricht einer Steigerung von 48 %. Die Fehlerquote wurde um 27 % reduziert.</p> <p>Haltung: Bei den Hand- und Armhaltungen konnten in allen drei Ebenen keine signifikanten Unterschiede nach dem Training festgestellt werden.</p> <p>Kraft: Das Training reduzierte den Kraftaufwand bei beiden Tastaturen: bei C um 58 % von 2,27 auf 0,97 N, bei B um 42 % von 9,92 auf 5,84 N.</p> <p>EMG: Hier zeigte das Training keine signifikanten Effekte.</p> <p>Ergebnis: Tastatur B schnitt allgemein eher schlechter ab als Tastatur C.</p>	3
<p><i>Gerard, M.; Armstrong, T.; Foulke, J.; Martin, B.: Effects of key stiffness on force and the development of fatigue while typing. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 57 (1996), S. 849-854</i></p>	7	<p>Die Studie ist wenig aussagekräftig, die Auswertung fragwürdig.</p> <p>Der Unterschied zwischen zwei manipulierten Tastaturen mit unterschiedlich notwendigem Kraftanschlag (0,28 und 0,83 N) wurde untersucht.</p> <p>Versuchsordnung: Sechs gesunde Studenten/Studentinnen, Zehn-Finger-Typisten. Die Testpersonen sollten die ganze Zeit gleich schnell schreiben. Gemessen wurden die Kraft, die Muskelaktivitäten der Finger-Flexoren und -Extensoren und die Performance.</p>	2



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
		<p>Zusammenfassend: Unter allen Bedingungen war die ausgeübte Kraft größer als die benötigte. Für die 0,83-N-Tastatur konnten 54 % mehr Kraftspitzen gemessen werden als für die 0,28-N-Tastatur. Im EMG fanden sich 34 % mehr Spitzen für Finger-Flexoren und 2 % mehr für die Finger-Extensoren. Höchstwerte (Peaks) und 90-Perzentil-Werte wiesen ähnliche Trends auf.</p>	
<p><i>Gerard, M.; Armstrong, T.; Franzblau, A.; Martin, B.; Rempel, D.:</i> The effect of keyswitch stiffness on typing force, finger electromyography, and subjective discomfort. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 60 (1999), S. 762-769</p>	<p>43</p>	<p>24 geübte Typist(inn)en wurden auf verschiedenen Tastaturen mit unterschiedlicher Anschlagkraft (0,28 N, 0,56 N, 0,83 N) gemessen.</p> <p>Versuchsordnung: Die Kontrolltastatur (wurde am Arbeitsplatz benutzt) hatte einen Anschlag von 0,72 N. Jede Tastatur wurde von den Testpersonen sieben Tage am Arbeitsplatz eingesetzt. Ermittelt wurden vorher und nachher die Kraft, EMG und der subjektive Komfort.</p> <p>Langzeittest: 17 Testpersonen bevorzugten danach die alte Tastatur (0,72 N), vier die 0,28-N-Tastatur, drei die 0,56-N-Tastatur. Diejenigen, die nach dieser Zeit die 0,28-N- und 0,56-N-Tastaturen bevorzugten, benutzten diese weiter und wurden nach vier Monaten nochmals getestet.</p> <p>Zusammenfassend: Die Erhöhung der notwendigen Kraft von 0,28 auf 0,83 N bewirkte 32 % Zunahme aufgewendeter Kraft. Die im EMG gemessenen Werte erhöhten sich jeweils im 90-Perzentil um 20 % für die Finger-Flexoren und um 9 % für die Finger-Extensoren. Das Verhältnis von aufgewendeter Kraft zu notwendiger Kraft betrug ungefähr 3,8 : 1. Der empfundene allgemeine Diskomfort lag bei der 0,83-N-Tastatur höher als bei allen anderen. Zwischen der 0,28-N- und der 0,72-N-Tastatur wurden keine großen Unterschiede gefunden. Dabei muss berücksichtigt werden, dass die 0,72-N-Tastatur sich auch im sonstigen Tastenverhalten (Ausstattung mit Schnappfunktion und akustischer Rückmeldung der Tastenbetätigung) von ersterer unterschied. Im EMG der Extensoren wurden während kontinuierlichen Schreibens Werte zwischen 6,3 bis 6,8 % MVC ermittelt. Die Anpassung an Tastaturen mit Tasten, die eine niedrige Auslösekraft benötigen, erforderte mehrere Wochen der Benutzung.</p> <p>Probleme: Die Tastaturen waren auch im Hinblick auf das Tastenverhalten (unterschiedliche Rückmeldungen und Kraftverlauf) nicht einheitlich, Langzeitwirkungen wurden wissenschaftlich nicht korrekt gemessen (keine Kontrollgruppe).</p>	<p>2</p>



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
<p><i>Gilad, I.; Harel, S.: Muscular effort in four keyboard designs. Int. J. Ind. Ergon. 26 (2000), S. 1-7</i></p>	5	<p>Es wurden vier Tastaturen mit unterschiedlichen Eigenschaften getestet: „flach“ (konventionell), „negativ geneigt“, „Tony“ (auswärts gedreht, laterale Neigung, positive Neigung in der Sagittalebene) und „getrennt“ (Raum zwischen den beiden Hälften mit lateraler Neigung und negativer Neigung in der Sagittalebene).</p> <p>Versuchsordnung: Sieben Testpersonen mussten je ca. zehn Minuten tippen. Ermittelt wurden Muskelaktivität (EMG), Performance und subjektiver Komfort.</p> <p>Zusammenfassend: Das Design mit einer negativen Neigung von ca. -10° hat sowohl in den objektiven Messungen als auch bei der subjektiven Komforteinschätzung sehr gut abgeschnitten: Die im EMG gemessene Muskelaktivität der Flexoren verringerte sich um 36 % gegenüber der während der Benutzung von „Tony“ und um 58 % gegenüber der während der Benutzung der getrennten Tastatur. Außerdem wurde eine um 28 % geringere Muskelaktivität der Extensoren als bei „Tony“ aufgezeichnet. Die Performance fiel beim Design mit einer negativen Neigung von ca. -10° am besten aus (27 % besser als bei der konventionellen Tastatur, 64 % besser als bei „Tony“ und 60 % besser als bei getrennter Tastatur). Die negativ geneigte Tastatur wurde gut angenommen, da das Design dem der konventionellen Tastatur ähnlich war. Für den <i>M. trapezius</i> wurde bei allen drei alternativen Designs eine höhere Aktivität im EMG gemessen als bei der konventionellen Tastatur. Mögliche Erklärungen dafür könnten sein, dass durch die erforderliche Handposition bei den drei alternativen Designs die Unterarme nicht abgelegt werden konnten oder dass die Höheneinstellungen des Arbeitsplatzes nicht ideal waren. Als Problem sind die ungenauen Winkelangaben zu den einzelnen Einstellungen der Tastaturen anzumerken.</p>	2
<p><i>Hedge, A.; Powers, J.: Wrist postures while keyboarding: effects of a negative slope keyboard system and full motion forearm supports. Ergonomics 38 (1995), S. 508-517</i></p>	32	<p>Versuchsordnung: Die Studie arbeitete mit 12 Testpersonen unter drei Bedingungen: Tippen ohne Armauflage auf konventioneller Tastatur (CK); Tippen mit verstellbaren, die volle Bewegung unterstützende Unterarmauflage (FMFS, frei beweglich in horizontaler Ebene), und Tippen mit verstellbarer negativ geneigter Tastatur (NSKS mit integrierter Handballenunterstützung). Die Testpersonen konnten die Geräte selbst einstellen (selbst gewählter Neigungswinkel $-12 \pm 0,4^\circ$). Erfasst wurden die Haltung, die Performance und das subjektive Empfinden.</p> <p>NSKS: Die Handgelenk-Extension war signifikant reduziert (CK +13° Streckung, NSKS -1,2° Beugung). In Ellbogen-Winkel und Ulnardeviation sowie in der Fehlerhäufigkeit oder Schreibgeschwindigkeit konnten keine signifikanten Unterschiede nachgewiesen werden. Es gab keine negativen Reaktionen im subjektiven Empfinden.</p>	2



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
<p>Marcus, M.; Gerr, F.; Monteilh, C.; Ortiz, D. J.; Gentry, E.; Cohen, S.; Edwards, A.; Ensor, C.; Kleinbaum, D.: A prospective study of computer users: II. Postural risk factors for musculoskeletal symptoms and disorders. Am. J. Ind. Med. 41 (2002), S. 236-249</p>	34	<p>In einer epidemiologischen Studie mit 632 neu angestellten Arbeitnehmern aus acht großen Firmen wurde über drei Jahre der Zusammenhang zwischen verschiedenen Bedingungen am Arbeitsplatz und muskuloskelettalen Beschwerden untersucht. Zu Beginn und bei arbeitstechnischen Veränderungen wurden jeweils Daten zum Arbeitsplatz und zur Arbeitsmethode registriert. Dabei wurden eine Checkliste und ein Goniometer zu Hilfe genommen. Die Testpersonen füllten wöchentlich einen Fragebogen zu den geleisteten Arbeiten und Symptomen aus. Bei Auftreten von Symptomen im Nacken-, Schulter- oder im Hand-/Armbereich wurden die entsprechenden Testpersonen ärztlich auf spezifische Beschwerden untersucht.</p> <p>Nacken/Schulter-Symptome: Als Risikofaktoren für Symptome wurden identifiziert: Tastatur liegt höher als Ellbogen, Ellbogenwinkel des Mausarms < 137 bis 148°, Kopfnäigung > 3° (bei horizontaler Blickrichtung auf den Bildschirm beträgt die Kopfnäigung ca. 10°, d. h. eine Kopfnäigung von 3° bedeutet einen Blick auf den Bildschirm unterhalb der Horizontalen), Vorhandensein eines Schulter-Telefonhalters. Weniger Symptome wurden angegeben, wenn der beobachtete Ellbogenwinkel während der Tastaturbenutzung > 121° lag; allerdings erhöhte sich das Risiko wieder bei zunehmenden Wochenarbeitsstunden (z. B. bei 20 Stunden/Woche).</p> <p>Hand/Arm-Symptome: Höheres Risiko wurde bei den Testpersonen gefunden, die bei der Tastaturbenutzung eine Handgelenkaufgabe benutzten. Das Risiko wurde hingegen vermindert, wenn die Tastatur mindestens 12 cm von der Tischkante entfernt platziert wurde, sodass zumindest ein Teil der Unterarme aufgelegt werden konnte. Eine wengleich geringere Korrelation konnte zwischen erhöhtem Beschwerderisiko und der Tastaturhöhe beobachtet werden: Lag die „J“-Taste höher als 3,5 cm über der Tischoberfläche, gaben die Testpersonen mehr Beschwerden an. Außerdem konnte festgestellt werden, dass eine Mausbenutzung mit einer Radialduktion > 5° größere Risiken mit sich brachte als eine neutrale Handgelenkhaltung zwischen -5 und 5°.</p>	3
<p>Marklin, R.; Simoneau, G.: Effect of setup configurations of split computer keyboards on wrist angle. Phys. Ther. 81 (2001), S. 1038-1048</p>	--	<p>Untersucht wurden vier verschiedene Tastatureinstellungen bezüglich Ausdrehwinkel respektive Distanz getrennter Tastaturhälften, gemessen zwischen den Buchstaben-tasten E und P.</p> <ul style="list-style-type: none"> • CV = konventionelle Tastatur (0° Ausdrehwinkel, Distanz: 15,25 cm) • S-20 = Distanz zwischen Buchstaben-tasten E und P auf den beiden Tastaturhälften 20 cm. Der Ausdrehwinkel wurde so gewählt, dass theoretisch eine neutrale Position bezüglich radio-ulnarer Deviation möglich war, wodurch die 20-cm-Distanz reduziert wurde. 	2



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
		<ul style="list-style-type: none"> • S-MID = Die Tastaturhälften waren auf halber Distanz von CV und Schulterbreite platziert. Der Ausdrehwinkel wurde so gewählt, dass theoretisch eine Neutralstellung bezüglich radio-ulnarer Ebene möglich war. • S-SW = Die Distanz der Tastaturhälften entsprach der Schulterbreite. Die Hälften lagen parallel zueinander. <p>Versuchsanordnung: Elf Testpersonen absolvierten jeweils Aufgaben von 30 Sekunden Dauer. Gemessen wurden die mittlere, maximale und minimale Ulnar duktion des rechten und linken Handgelenks, die Schreibgeschwindigkeit und -genauigkeit sowie der empfundene Diskomfort.</p> <p>Handgelenk-Ulnar duktion: Zwischen den drei alternativen Tastaturanordnungen wurde kein Unterschied festgestellt (links 7,7 bis 8,5°, rechts 2,7 bis 5,0°). Die mittleren Winkel der Ulnar duktion fielen bei der Benutzung der drei alternativen Anordnungen kleiner aus als bei CV (CV: links 18,9°, rechts 14,2°).</p> <p>Schreibgeschwindigkeit und -genauigkeit blieben von den vier Tastaturanordnungen unbeeinflusst.</p> <p>Der subjektive empfundene Komfort bzw. die Angabe von Beschwerden unterschieden sich nur im Hinblick auf Nackenbeschwerden. Die Anordnung CV führte verglichen mit den alternativen Anordnungen (0,31 bis 0,62) zu mehr Beschwerdeangaben (0,92). Diese Befunde lassen sich möglicherweise dadurch erklären, dass die Testpersonen auch bei Arbeiten an den alternativen Tastaturanordnungen eine Innenrotation der Schultern beibehielten.</p> <p>Probleme: Für eine Differenzierung zwischen den drei alternativen Tastaturanordnungen waren die Stichprobe, die Aufgabendauer und die gemessenen Unterschiede zu gering.</p>	
<p><i>Marklin, R. W. Simoneau, G. G.:</i> Design features of alternative computer keyboards: A review of experimental data. J. Orthop. Sports Phys. Ther. 34 (2004), S. 638-649</p>	24	<p>Der Review-Artikel beschäftigt sich mit verschiedenen alternativen Tastaturdesigns: Tastaturen mit Auswärtsdrehung, Neigung, getrennten Hälften und lateraler Neigung.</p> <p>Bei konventionellen Designs wurden folgende Haltungen gemessen: Handgelenk-Extension 20°, Ulnar duktion 10 bis 15°, Pronation: beinahe vollständig</p> <p>Ausdrehwinkel: Bei ca. 12,5° (total 25°) konnte eine Handgelenk-Ulnar duktion von beinahe 0° erzielt werden, dabei ging die Zunahme des Ausdrehwinkels ungefähr 1 : 1 mit der Abnahme der Ulnar duktion einher. Der Einfluss auf die Schreib-Performance war minimal. In sechs Minuten hatten sich die Testpersonen an die neuen Bedingungen gewöhnt.</p>	Review-Artikel



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
		<p>Getrennte Tastaturhälften: Die Hälften können auf Schulterweite auseinander gelegt werden und somit müsste theoretisch die erzwungene Ulnardeviation aufgehoben werden. Dazu sind aber nur begrenzt Daten vorhanden.</p> <p>Tastaturneigung: Bei -7,5° kommt eine fast neutrale Handposition in Bezug auf die Extension im Handgelenk zustande, die von den Testpersonen als bequemste Position empfunden wurde. Die Schreib-Performance wird kaum verändert. Bei stärker negativer Neigung wird die Verminderung der Handgelenk-Extension von einer geringen Zunahme der Ulnardeviation begleitet.</p> <p>Laterale Neigung: Testpersonen konnten Winkel selbst einstellen und wählten durchschnittlich links 27,8°, rechts 32,8°. Dadurch kam eine Unterarm-Pronation von ca. 40° zustande, ca. 22° weniger als bei konventionellen Tastaturen. Ein leichter Verlust bei der Schreibgeschwindigkeit war allerdings zu verzeichnen. Die Akzeptanz variierte individuell stark. Neben der Reduzierung der Unterarm-Pronation wurde auch weniger Ulnardeviation festgestellt. Es wird erwähnt, dass bei 45° Pronation der CT (Carpaltunnel)-Druck am kleinsten ist.</p> <p>Die Langzeitwirkung ist noch nicht geklärt.</p>	
<p><i>McLoone, H.; Jacobsen, M.: Innovation and design process for a fixed-split ergonomic keyboard. Hrsg.: Microsoft Corporation USA</i></p>	<p>36</p>	<p>Im Rahmen eines Designprozesses wurden verschiedene Kombinationsmöglichkeiten von lateralen und sagittalen Neigungs- (sowie Ausdreh)winkeln für eine feststehend-geteilte ergonomische Tastatur getestet.</p> <p>Studie 1 erfolgte mit 13 Testpersonen. Unter folgenden Bedingungen wurde für verschiedene Tastaturhälftenanordnungen getestet: Laterale Neigungen von 8, 10 und 12°; sagittale Neigung: positiv, 0° und negativ. Zudem wurden einige Tasten anders angeordnet und teilweise die Form geändert („gull wings“), um ein muldenförmiges Profil zu erreichen. Eine breite Handballenauflage wurde mit folgenden Höhen eingesetzt: 0, 7, 14, 21 und 28 mm. Subjektive Präferenzen der Testpersonen wurden erfragt.</p> <p>Resultat der Studie 1: Die Testpersonen bevorzugten eine steilere laterale Neigung. Sie mochten die neuen Tastenformen. Bei der sagittalen Neigung bevorzugte je ein Drittel der Testpersonen die positive oder negative Neigung bzw. die flache Version. Bei den Handballenauflagen wurden nur die 7 und 14 mm hohe akzeptiert; die 21 und 28 mm hohen wurden als zu hoch empfunden, weil sie bei der Betätigung der Leertaste störten.</p>	<p>1</p>



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
		<p>Studie 2 wurde ebenfalls mit 13, allerdings anderen Testpersonen durchgeführt. Es wurden noch größere Neigungswinkel getestet: laterale Neigung: von 8 bis 16° in 2°-Abstufungen. Die Höhe der Handballenunterstützung wurde auf 0, 7, 10 und 14 mm festgesetzt. Die Tastaturen besaßen die „gull-wing“-Tastenformen.</p> <p>Resultat der Studie 2: In der Beurteilung der lateralen Neigung durch die Testpersonen schnitt ein Neigungswinkel von 14° am besten ab, gefolgt von 16 und 12°; 8 und 10° wurden im Gegensatz zu 18° ebenfalls akzeptiert. Die Testpersonen mochten die Tastenformen und akzeptierten eine Höhe der Handballenauflage von 7 und 10 mm. 14 mm war jetzt im Vergleich zu hoch.</p> <p>Zusammenfassend: Für das Design der Tastatur, deren beiden Tastaturhälften nicht mehr gegeneinander verstellbar sind, wurden folgende Parameter gewählt: Die laterale Neigung sollte zwischen 12 und 14° betragen (auch für Personen mit kleineren Händen). Für die Handballenauflage wird schließlich eine Höhe von 7 mm festgesetzt. 22 von 23 Testpersonen bevorzugten die „gull-wing“-Tasten. Die sagittale Neigung kann positiv, negativ oder auf Null eingestellt werden.</p>	
<p><i>Nelson, J.; Treaster, D.; Marras, W.:</i> Finger motion, wrist motion and tendon travel as a function of keyboard angles. Clin. Biomech. 15 (2000), S. 489-498</p>	<p>41</p>	<p>Die Tastaturen wurden verschieden auswärts gedreht (0°, 15°, 30°), geneigt (0°, 12,5°, 25°), lateral geneigt (0°, 15°, 30°) und die Tastaturhälften unterschiedlich weit getrennt (0 cm, 9,2 cm, 18,4 cm).</p> <p>Untersucht wurden 30 verschiedene Kombinationen. Zur Verfügung standen 15 Testpersonen, die jeweils einen standardisierten Text von maximal drei Minuten Länge eingeben mussten. Gemessen wurde mit opto-elektrischem Finger-Goniometer, Handgelenk- und Fingermonitoren, wovon der Tendon Travel abgeleitet wurde. Zudem wurde ein Fragebogen ausgefüllt.</p> <p>Resultate allgemein: Es konnte ein minimaler Tendon Travel bei größter positiver Neigung und moderater lateraler Neigung festgestellt werden. Signifikant mehr Tendon Travel zeigte sich bei 0° Neigung und Ausdrehung. Der Tendon Travel fiel außerdem gering aus, wenn die Tastaturneigung 0° und das laterale Zelt dafür groß waren. Größere positive Neigungen bewirkten größere Dorsal-Extension des Handgelenks und damit einhergehend größere Flexion der Finger. Diese Kombination könnte den Betrag der Bewegung in den Flexorsehnen reduzieren. Es gab große individuelle Unterschiede, daher werden auch unterschiedliche Designs von Tastaturen gefordert (z. B. für unterschiedlich lange Fingersegmente).</p>	<p>2</p>



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
		<p>Schnelleres Schreiben bewirkt mehr Bewegungen und somit auch mehr Tendon Travel.</p> <p>Problem: Wie groß ist die Relevanz des Tendon Travels? Was sagt er wirklich aus?</p>	
<p><i>Rempel, D.; Tittiranonda, P.; Burastero, S.; Hudes, M.; So, Y.: Effect of keyboard keyswitch design on hand pain. J. Occup. Environm. Med. 41 (1999), S. 111-119</i></p>	44	<p>Untersucht wurde der Unterschied des Kraft-Weg-Verhaltens der Tasten. 20 Patienten mit Parästhesien der Hand (evtl. KTS – Karpaltunnelsyndrom) arbeiteten während 12 Wochen auf zwei Tastaturen (A und B) mit unterschiedlicher Kraft-Weg-Charakteristik der Tasten: Die Tasten von A hatten größere Wegdistanzen bis zum Punkt P1 (minimal notwendiger Kraftaufwand-Punkt) als B. Dies gab bei A das Gefühl von mehr Entspannung, wenn die Finger auf den Tasten ruhen konnten, weil weniger Gefahr bestand, ungewollt eine Taste zu drücken. A wies zudem am Ende der Kurve (nach P2 – tiefster Kraftpunkt nach P1) weniger Anstieg der Steifigkeit auf als B (d. h., die Tasten von A besaßen mehr Dämpfung beim Aufprall auf dem Tastaturboden, was das Gefühl der Aufprallkraft beeinflusste).</p> <p>Nach 12 Wochen schnitt Tastatur A bei Testpersonen mit Beschwerden besser ab als Tastatur B (bei A Schmerzreduktion, bei B Schmerzzunahme).</p> <p>Für Benutzer mit Hand-Parästhesie wird eine Tastatur mit langem Weg bis P1 und nicht zu steilem Anstieg der Steifigkeit am Ende der Tastenbewegung empfohlen.</p> <p>Problem: Die Effekte waren nur sehr gering.</p>	3
<p><i>Simoneau, G. G.; Marklin, R. W.: Effect of computer keyboard slope and height on wrist extension angle. Hum. Factors 43 (2001), S. 287-298</i></p>	30	<p>Bei 30 Testpersonen wurden die Variationen des Neigungswinkels der Tastatur (+15, +7,5, 0, -7,5 und -15°) und der relativen Haltung der Handgelenke zu den Ellbogen (Handgelenke auf gleicher Höhe wie Ellbogen, 5 cm über und 4 cm darunter) untersucht. Die Handgelenkauflagen wurden nicht mitgeneigt. Die Testpersonen mussten pro Tastatur während 13 Minuten (mit einer Pause dazwischen) Text eingeben.</p> <p>Schreibgeschwindigkeit und -genauigkeit: Es konnten keine signifikanten Unterschiede gemessen werden. Nach fünf Minuten hatten sich die Testpersonen an die neue Situation gewöhnt.</p> <p>Schlussfolgerung: Zur Unterstützung einer neutralen Handhaltung sollten sich die Handgelenke auf Höhe der Ellbogen befinden. Wenn sie höher sind, wird zwar die Handgelenk-Extension reduziert, aber dafür können Probleme mit dem Nacken auftreten. Die Neigung der Tastatur wird bei -7,5 oder -15° empfohlen. Dabei beträgt die Handgelenk-Extension durchschnittlich 15° oder weniger. Allerdings bewirkt diese negative Neigung eine geringe Erhöhung der Ulnardeviation.</p>	2



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
<p><i>Simoneau, G. G.; Marklin, R. W.; Berman, J. E.: Effect of computer keyboard slope on wrist position and forearm electromyography of typists without musculoskeletal disorders. Phys. Ther. 83 (2003), S. 816-830</i></p>	25	<p>15 Testpersonen mussten jeweils neun Minuten auf verschiedenen Tastaturen tippen. Dabei wurde eine konventionelle Tastatur verwendet, die mit verschiedenen Neigungswinkeln (7,5°, 0°, -7,5°, -15°) platziert wurde. Die Tastatur war mit integrierter Handgelenkauflage versehen (neigte sich mit, war aber mehr zur Kontrolle der Handgelenkhöhe im Vergleich zum Ellbogen gedacht und sollte während des Tippens nicht benutzt werden). Gemessen wurden die Muskelaktivität (EMG), die Handgelenkhaltung (Elektrogoniometer), die Performance und der persönliche Diskomfort.</p> <p>Die Handgelenk-Extension nahm mit negativer Tastaturneigung 1 : 2 ab.</p> <p>In der Schreibgeschwindigkeit und -genauigkeit konnten keine Einbußen festgestellt werden. Eine Tastaturneigung von -15° wurde im Vergleich zu anderen Neigungen als weniger komfortabel beurteilt.</p>	2
<p><i>Smith, M.; Karsh, B.; Conway, F.; Cohen, W.; James, C.; Morgan, J.; Sanders, K.; Zehel, D.: Effects of a split keyboard design and wrist rest on performance, posture, and comfort. Hum. Factors 40 (1998), S. 324-336</i></p>	--	<p>18 Testpersonen probierten während fünf Tagen zwei Tastaturen aus: eine konventionelle und eine alternative (numerischer Block getrennt, getrennte Hälften: Innenseite vordere Ecken Abstand 9 cm, Innenseite hintere Ecken Abstand 4,5 cm, Innenseite vordere Ecke 8 cm erhöht, Innenseite hintere Ecken 12,5 cm, Außenseite vordere Ecken 1,5 cm erhöht). Die Hälfte der Testpersonen arbeitete mit Handgelenkauflagen, die andere Hälfte ohne. Gemessen wurden die Handgelenkpositionen mittels Video, die Performance und der subjektive Komfort.</p> <p>Die Performance war mit nur kurzer Übung (zwei Stunden) für beide Tastaturen gleich. Bei der alternativen Tastatur wurden abends etwas geringere Beschwerden angegeben. Zudem konnten leicht größere Winkel für die Handstreckung (rechts und links) und Radialduktion, dafür kleinere für die Ulnarduktion und Pronation beobachtet werden. Alle Unterschiede, außer bei der Pronation, waren sehr gering.</p> <p>Problem: Die Messung erwies sich als ungenau.</p>	2
<p><i>Sommerich, C.; Marras, W.; Parnianpour, M.: Observations on the relationship between key strike force and typing speed. Am. Ind. Hyg. Ass. J. 57 (1996), S. 1109-1114</i></p>	--	<p>Laut verschiedentlich geäußelter These sollen menschliche Sehnen nicht mehr als 1 500 bis 2 000 Bewegungen (Zug und Dehnungen) pro Stunde (23 bis 33 pro Minute) tolerieren können. In dieser Studie wollte man den Zusammenhang zwischen Kraftaufwendung und Schreibgeschwindigkeit untersuchen.</p> <p>Dazu wurden zwei Versuche durchgeführt: Der eine fand am Arbeitsplatz mit 25 Testpersonen statt, die während 60 bis 90 Minuten in ihrem selbst gewählten Tempo arbeiten mussten, teils ein-, teils zweihändig. Der andere fand im Labor mit fünf Testpersonen statt. Hier musste mit vorgegebenen unterschiedlichen Geschwindigkeiten und mit verschieden angeordneten Tasten geschrieben werden. Gemessen wurden die Geschwindigkeit und die angewendete Kraft.</p>	2 - 1



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
		<p>Es konnte kein genereller Zusammenhang zwischen Kraft und Schreibschnelligkeit bei selbst gewählter, bevorzugter Schreibgeschwindigkeit festgestellt werden. Veränderungen waren nur ersichtlich, wenn wie oben beschrieben Aufgaben gestellt wurden.</p>	
<p>Stack, B.: Keyboard RSI: the practical solution. Mudén Publishing Company, Tasmania 1987</p>	<p>31</p>	<p>Thema des Buches sind die Risikofaktoren für RSI (repetitive strain injury) und Aufzeigen von Maßnahmen dagegen. Es wird darauf hingewiesen, dass es keine allgemeingültigen Aussagen gibt. Die Individualität der Arbeiter/-innen ist zu groß und wird von Größe, Alter, Geschlecht, Sensitivität (unterschiedliche kritische Punkte), Arbeitsumfeld, Arbeitsmethode, Arbeitstätigkeit usw. geprägt. Für eine erfolgreiche ergonomische Verbesserung auf den Gebieten Ausrüstung, Möbel, Beleuchtung des Arbeitsplatzes, Haltung und Arbeitsausführung braucht es zudem drei Komponenten: Hersteller, Arbeitgeber und Arbeitnehmer.</p> <p>Empfehlungen:</p> <p>Tastaturform: Die Tastatur sollte im Profil konkav geformt sein, damit alle Reihen gut erreicht werden können. Die Form der einzelnen Tasten ist idealerweise ebenfalls leicht muldenförmig (konkav), die Größe sollte der Größe der Fingerkuppen angepasst sein. Die „Home“-Zeile bzw. die Tasten, auf denen die Finger in der Grundstellung liegen, sollten sich anders anfühlen als die restlichen Tasten, damit die Finger nach einer Pause ohne Blick wieder den richtigen Platz finden. Nur so werden die Hände in einer Pause auch eher von der Tastatur weggenommen. Die vordere Kante der Tastatur sollte so flach wie möglich sein.</p> <p>Tastaturdruckkraft: Eine Tastatur mit sehr leichtem Anschlag hat zwar den Vorteil, dass ohne großen Kraftaufwand schnell geschrieben werden kann, das Problem ist aber, dass die Finger in den kleinen Pausen wegen der Gefahr einer ungewollten Tastenbetätigung nicht auf der Tastatur ruhen können. Daher ist die Haltearbeit in den Unterarmen hoch. Abhilfe kann hier eine Handgelenkauflage (siehe unten) und eine negative Tastaturneigung schaffen. Bei solch einer Neigung ruhen die Finger nicht senkrecht auf den Tasten, d. h., die Richtung der Kraft entspricht nicht der erforderlichen Krafttrichtung der Tastenbetätigung.</p> <p>Tastaturposition: Der/die Arbeiter/-in sollte zentral vor dem meist benutzten Teil der Tastatur sitzen (Buchstabenblock). Idealerweise (für die Autorin das wichtigste) ist die Tastatur leicht negativ geneigt. Das Ausmaß der Neigung ist individuell (abhängig von Größe des Benutzers, der relativen Länge von Unter- zu Oberarm, der Schreibmethode usw.). Im Durchschnitt beträgt die Neigung 5 bis 10°.</p>	<p>Keine wissenschaftliche Arbeit: Buch in Form eines Erfahrungsberichtes</p>



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
		<p>Tastaturaufgabe: Insbesondere bei einer ultra-leichtgängigen Tastatur, bei der die erforderliche Anschlagkraft sehr gering ist, wird zu einer Handgelenkaufgabe geraten, damit der Handballen während der kleinen Schreibpausen in einer guten Position ruhen kann. Diese Auflage muss aber korrekt platziert und geformt sein; sie muss spezifisch auf die Tastatur abgestimmt sein, der Winkel muss dem Neigungswinkel der Tastatur entsprechen, die Höhe muss gleich sein, sie sollte mindestens 70 mm tief sein (besser 80 mm, bei sehr langen Unterarmen und Händen eventuell noch größer). Der Unterarm und die Hand sollten eine gerade Linie bilden. Eine flache Form der Auflage ist zu bevorzugen, am besten aus Holz oder Plastik (nicht Wärme leitend und keine große Reibung). Die Auflage kann auch in die Tastatur integriert sein.</p> <p>Der Tisch sollte verstellbar in Höhe und Neigung sein.</p> <p>Bei Zehn-Finger-Typisten werden Stühle ohne Armlehnen empfohlen.</p> <p>Auch das beste Equipment und ideale Einstellungen ersetzen Pausen nicht!</p>	
<p><i>Strasser, H.; Fleischer, R.; Keller, E.:</i> Muscle strain of the hand-arm-shoulder system during typing at conventional and ergonomic keyboards. <i>Occup. Ergon.</i> 4 (2004), S. 105-119</p>	26	<p>Die Untersuchung wurde mit zehn Testpersonen durchgeführt. Verglichen wurden eine konventionelle Tastatur (Neigung 5,5°) und eine sogenannte ergonomische Tastatur (Microsoft, ausgedreht um 24°, Hälften leicht separiert, leichte laterale Neigung). Die Testpersonen mussten 6 x 10 Minuten Text eingeben. Die Aktivität mehrerer Muskeln wurde mittels EMG gemessen. In einem Fragebogen wurde die subjektive Einschätzung angegeben.</p> <p>Die ergonomische Tastatur bewirkte bei den meisten Muskeln eine leichte Aktivitätsverminderung, vor allem in Unterarm und Hand brachte die auswärts gedrehte Tastatur Vorteile. Die Testpersonen bevorzugten nach kurzer Eingewöhnung die ergonomische Tastatur.</p> <p>Als problematisch könnte sich die größere Breite der sogenannten ergonomischen Tastatur herausstellen, weil dadurch beim Mausegebrauch der Arm mehr abduziert werden muss.</p>	2
<p><i>Swanson, N.; Galinsky, T.; Cole, L.; Pan, C.; Sauter, S.:</i> The impact of keyboard design on comfort and productivity in a test-entry task. <i>Appl. Ergon.</i> 28 (1997), S. 9-16</p>	35	<p>50 Testpersonen tippten drei Tage à 300 Minuten auf verschiedenen Tastaturen:</p> <p>Eine alternative Tastatur wurde von jeweils zehn Testpersonen getestet. War keine integrierte Handauflage vorhanden, wurde eine separate zur Verfügung gestellt.</p> <p>Legende: Ausdrehung = A, laterale Auslenkung = LA, Distanz zwischen den Buchstabentasten G und H = G-H</p>	2



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
		<ul style="list-style-type: none"> • Tastatur A (Standard): A = 0°, LA = 0°, G-H = 1,9 cm • Tastatur B: wie Tastatur A, aber mit verstellbaren Handgelenkauflagen • Tastatur C: A = 0°, LA = 9°, G-H = 19 cm, konkaves Tastaturprofil, ca. 7 cm Handauflage • Tastatur D: flexibel (A und LA einstellbar, allerdings nicht unabhängig voneinander sowie nur rechts und links zusammen einstellbar), A = 0°, LA = 12°, G-H = 3,8 cm • Tastatur E: flexibel (rechts und links, A, LA und Distanz unabhängig voneinander einstellbar), A = 25°, LA = 45°, G-H = 10,8 cm. <p>Zu Beginn der Untersuchung gab es Einbußen in der Geschwindigkeit, die am zweiten Tag fast vollständig verschwunden waren. Die meisten Schwierigkeiten hatten die Testpersonen bei Tastatur C, bei der die Tastaturhälften weit – etwa schulterbreit – auseinander positioniert waren und ein konkaves Profil aufwiesen, gefolgt von Tastatur E, bei der wiederum die Tastaturhälften weit auseinander lagen und LA steil gewählt war. In Ermüdung und Diskomfort konnten keine großen Unterschiede festgestellt werden.</p> <p>Zusammenfassend wurden keine sehr großen Unterschiede innerhalb der zwei Tage festgestellt. Bieten alternative Tastaturen Vorteile? Sind die Messmethoden ausreichend?</p>	
<p><i>Szeto, G.; Straker, L.; O'Sullivan, P.:</i> The effects of speed and force of keyboard operation on neck-shoulder muscle activities in symptomatic and asymptomatic office workers. <i>Int. J. Ind. Ergon.</i> 35 (2005), S. 429-444</p>	6	<p>Gesunde Testpersonen und solche mit Beschwerden, insgesamt 41, mussten einmal 20 Minuten wie gewohnt tippen, dann 20 Minuten schnell und schließlich 20 Minuten mit mehr Kraft. Dabei wurden die Muskelaktivität (EMG), die Geschwindigkeit, die Kraft und der subjektive Diskomfort ermittelt.</p> <p>Bei schnellerem Tippen konnte eine erhöhte Muskelaktivität festgestellt werden; vor allem für die Nacken-Schulter-Muskulatur der dominanten Seite. Testpersonen mit Beschwerden zeigten größere Rechts-links-Unterschiede – das wies darauf hin, dass die Gruppe gesunder Testpersonen bessere Kontrollstrategien hatte. Kräftigeres Tippen rief weniger Erhöhung der gemessenen Muskelaktivität hervor als dies beim schnelleren Tippen der Fall war.</p> <p>Die Relevanz der Aufgabenstellung ist fragwürdig. Die von außen forcierten Bedingungen können psychischen Stress hervorrufen, der einen Einfluss unbekannter Höhe auf die Ergebnisse hat.</p>	2
<p><i>Tittiranonda, P.; Rempel, D.; Armstrong, T.; Burastero, S.:</i> Workplace use of an adjustable keyboard: adjustment preferences and effect on wrist posture. <i>Am. Ind. Hyg. Assoc. J.</i> 60 (1999),</p>	29	<p>Ziele der Studie:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vorlieben der Computerbenutzer/-innen zur Ausrichtung der Tastatur herausfinden • Messen, welche Haltungsänderungen sich aus den bevorzugten Tastatúrausrichtungen ergeben im Vergleich zur konventionellen Tastatúrausrichtung 	3



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
S. 340-348		<p>Die Untersuchung wurde mit 35 Testpersonen durchgeführt. Die trennbare Tastatur war ein „Apple Adjustable Keyboard“, die Tastaturhälften konnten bis 28° auswärts gedreht, die Neigung durch Füßchen um 7° verstellt werden. Es befanden sich Handgelenkauflagen an der Tastatur, die entfernt werden konnten; der numerische Block war von der Tastatur separiert. Die Testpersonen hatten sieben bis 14 Tage die Möglichkeit, Einstellungen der Tastatur zu erproben.</p> <p>17 % der Computerbenutzer/-innen bevorzugten einen Ausdrehwinkel von 0 bis 10°, 48 % von 11 bis 20° und 35 % von 21 bis 28°. Niemand benutzte die Füßchen, um die positive Neigung der Tastatur zu erhöhen. Die Gruppe, welche die Tastatur um 11 bis 20° ausgedreht hatte, beurteilte die Tastatur signifikant besser als die von 0 bis 10°.</p> <p>Fazit für die Tastatur mit verstellbaren Tastaturhälften: weniger ermüdend, bequemere Haltung, weniger Beschwerden. Niemand beurteilte die verstellbare Tastatur schlechter als die normale.</p> <p>Bei der alternativen Tastatur wurden häufiger der Neutral-Null-Haltung nähere Positionen bezüglich der Handgelenk-Extension und Ulnardeviation beobachtet.</p>	
<p><i>Tittiranonda, P.; Rempel, D.; Armstrong, T., Burastero, S.: Effect of four computer keyboards in computer users with upper extremity musculoskeletal disorders. Am. J. Ind. Med. 35 (1999), S. 647-661</i></p>	38	<p>80 Testpersonen mit KTS (Karpaltunnelsyndrom) und/oder Tendinitis nahmen an der Studie teil. Jede Person benutzte sechs Monate eine Tastatur. Untersucht wurden vier verschiedene Tastaturen: Apple Adjustable Keyboard (Kb1) (Neigung 3,8° oder 7°, Ausdrehwinkel zwischen zwei Hälften 0 bis 28°, Distanz zwischen den Buchstabentasten B und N 2 cm), Komfort Keyboard System (Kb2) (Neigung -44 bis 38,5°, laterale Neigung 0 bis 90°, Ausdrehwinkel zwischen zwei Hälften 0 bis 360°, Distanz zwischen den Buchstabentasten B und N 2 bis 36 cm), Microsoft Natural Keyboard (Kb3) (Neigung 5,5 oder -2,6°, laterale Neigung 8,5 oder 10°; Ausdrehwinkel zwischen zwei Hälften 12°, Distanz zwischen den Buchstabentasten B und N 8,2 cm), Placebo (Neigung 8°).</p> <p>Bei allen alternativen Tastaturen gingen die Beschwerden in Form von allgemeinem Schmerz, Tendinitis und KTS zurück (bei Placebo war CTS leicht erhöht); Kb3 erzielte 50%ige Verbesserungen bezüglich allgemeinem Schmerz, gefolgt von Kb2 (40 %) und Kb1 (35 %).</p> <p>Vom klinischen Standpunkt aus betrachtet führte die Nutzung alternativer Tastaturen zu einer Verbesserungstendenz, vor allem der Tendinitis, allerdings nicht signifikant. Die Veränderungen waren sehr individuell.</p>	3
<p><i>Treaster, D.; Marras, W.: An assessment of alternate keyboards using finger motion, wrist motion and tendon travel. Clin. Biomech. 15 (2000), S. 499-503</i></p>	42	<p>15 Testpersonen testeten verschiedene Tastaturen: Microsoft Natural (Neigung 5°/-3°); Kinesis Keyboard (konkav gewölbte Tastaturblöcke, hier durften die Testpersonen eine Stunde lang üben); Standardtastatur (Neigung 5°/11°); Lexmark Keyboard (wie Standardtastatur, aber die Tastaturhälften waren auseinandergedreht und leicht separiert).</p>	2



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
		<p>Die Messungen dauerten jeweils maximal drei Minuten und bestanden aus einer standardisierten Texteingabe.</p> <p>Der Tendon Travel ist individuell unterschiedlich ausgeprägt und daher ist der Einfluss, den die Tastaturbedingungen auf ihn haben könnten, schwierig nachzuweisen. Männer schienen anders als Frauen auf Einstellung der Tastaturneigung zu reagieren (nicht nur bedingt durch unterschiedliche Anthropometrie). Tendon Travel reagierte vor allem auf Neigungsänderungen der Tastatur. Negative Tastaturneigungen bewirkten signifikant mehr Tendon Travel als positive.</p> <p>Es ist schwierig, eindeutige Aussagen aus der Studie abzuleiten, weil zu viele unterschiedliche Vergleiche gezogen wurden. Zudem herrschten unterschiedliche Bedingungen, weil teils mit, teils ohne Handgelenkauflage getestet wurde.</p>	
<p><i>Woods, M.; Babski-Reeves, K.</i>: Effects of negatively sloped keyboard wedges on risk factors for upper extremity work-related musculoskeletal disorders and user performance. <i>Ergonomics</i> 48 (2005), S. 1793-1808</p>	28	<p>Zehn Testpersonen erprobten eine Standardtastatur mit unterschiedlichen Neigungen: 7°, 0°, -10°, -20°, -30°. Es wurden keine Handgelenkauflagen benutzt. Die Testpersonen mussten pro Einstellung 15 Minuten schreiben. Die Tests wurden nach einer Woche wiederholt.</p> <p>Handgelenkhaltung: Je negativer die Tastatur geneigt war, desto geringere Handgelenk-Extension, aber desto mehr Ulnardeviation wurde gemessen. Zwischen 7 und 0° wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt.</p> <p>Geschlechtsspezifische Unterschiede konnten nicht festgestellt werden: Bei -30° Tastaturneigung wiesen die Männer 7,7°, die Frauen 0,3° Handgelenk-Extension auf.</p> <p>Im EMG gab es keine großen Unterschiede.</p> <p>Es konnte keine einzelne optimale Tastaturneigung eruiert werden, da die Resultate teils widersprüchlich waren. Dennoch scheint eine negative Neigung für die Handhaltung und Muskelaktivität vorteilhaft zu sein bei gleich guter bzw. besserer Performance.</p>	2
<p><i>Zecevic, A.; Miller, D.; Harburn, K.</i>: An evaluation of the ergonomics of three computer keyboards. <i>Ergonomics</i> 43 (2000), S. 55-72</p>	27	<p>16 Testpersonen absolvierten zehn Stunden Training auf unterschiedlichen Tastaturen, um anschließend an Tests von 30 bis 60 Minuten teilzunehmen.</p>	3



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
		<p>Tastaturen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Standard (S) • Fixed (F): 10° lateral und 0° sagittal geneigt, Handgelenkauflagen vorhanden • Open (O): jede Hälfte 15° auswärts gedreht, laterale Neigung ca. 42° <p>Körperhaltung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pronation: bei S 57°, bei F 52°, bei O 34° • Ulnar-/Radialduktion: bei S 6° Ulnarduktion, bei F 3° Ulnarduktion, bei O 4° Radialduktion • Extension: bei S 11°, bei F 0°, bei O 7° (signifikante Unterschiede) <p>Testpersonen, die auf der Tastatur S extreme Handgelenk-Extensionen aufwiesen, nahmen auf den anderen Tastaturen ähnliche Handhaltungen ein. Dies weist auf die individuell unterschiedlichen Bewegungs- und Haltungsmuster hin. Bei Tastatur F befand sich die Hand vorwiegend in neutralen Bereichen (Extension/Flexion ± 10°, Ulnarduktion -15°, Radialduktion 5°. Bei den Tastaturen S und O tendierten die Testpersonen zu moderaten oder extremen Positionen, bei Tastatur S mehr als bei Tastatur O.</p> <p>Schreibproduktivität: bei S 56 wpm (Worte pro Minute), bei F 50 wpm, bei O 45 wpm, also bei F 89 % von S und bei O 80 % von S. Dies nach zehn Stunden Training.</p> <p>Die Hälfte der Testpersonen fand eines der alternativen Designs besser als S. Die Tastatur F schien ein Problem in der Akzeptanz bei Testpersonen mit kleineren Händen zu haben, da dieses Design recht groß ausfiel. Problem bei O war die Instabilität, man sah die Tasten schlecht, Handgelenkauflagen waren nicht fest, teils waren die Tasten sehr ungünstig angeordnet.</p>	
<p>Zipp, P.; Haider, E.; Halpern, N.; Rohmert, W.: Keyboard design through physiological strain measurements. Appl. Ergon. 14 (1983), S. 117-122</p>	37	<p>In diesem Artikel wurden Haltungen bei konventionellen Tastaturen angegeben: Ulnarduktion 20 bis 26°, teils bis 40°; Pronation fast vollständig (ca. 90°). Die Experimente wurden mit nur drei Testpersonen durchgeführt, an denen EMG-Messungen im Schulter- und Armbereich vorgenommen wurden. Es gab Untersuchungen in drei Schritten:</p> <ul style="list-style-type: none"> • EMG bei kontinuierlichem Schreiben auf konventioneller Tastatur Die Muskelaktivität im EMG erhöhte sich mit der Schreibzeit, was auf Ermüdung hinweist. Die Schulter-Arm-Muskulatur sollte bezüglich statischer Anspannung entlastet werden. • Festlegung tolerabler Haltungsbereiche für Ulnarduktion und Pronation Tolerable Haltungen bezüglich Pronation und Ulnarduktion wurden anhand niedrigerer Muskelaktivitäten im EMG wie folgt festgelegt: 0 bis 60° Pronation und 0 bis 15° Ulnarduktion. 	1



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
		<ul style="list-style-type: none">• EMG bei kontinuierlichem Schreiben auf alternativer Tastatur Tastaturhälften wurden lateral geneigt (10°, 20°, 30°) und auswärts gedreht (Halbwinkel von 13° und 26°). Bereits bei einer lateralen Neigung von 10° konnten signifikante Reduktionen der EMG-Werte registriert werden, mit Ausnahme des Bizeps-EMG, das sich mit der lateralen Neigung erhöhte. Bei der Betrachtung des Ausdrehwinkels fiel auf, dass je größer der Winkel war, desto niedrigere Muskelaktivitäten im EMG gemessen werden konnten, außer für den <i>M. pronator</i>. Bereits eine Auswärtsdrehung von 13° reduzierte die statische Muskelarbeit der oberen Extremitäten. <p>Zusammenfassend wurde empfohlen, die Tastaturhälften 10 bis 20° (bzw. insgesamt 20 bis 40°) auswärts zu drehen und eine laterale Neigung von 10 bis 20° anzustreben. Probleme ergaben sich bei großer lateraler Neigung mit der Sicht und der nötigen Reichweite der kleinen Finger. Als Lösungsmöglichkeit wurde eine veränderte Positionierung der entsprechenden Tasten vorgeschlagen.</p>	



Anhang B: Inhalt der Literatur – Maus

Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
<i>Aaras, A.; Dainoff, M.; Ro, O.; Thoresen, M.: Can a more neutral position of the forearm when operating a computer mouse reduce the pain level for visual display unit operators? A prospective epidemiological intervention study: part II. Int. J. Hum.-Comp. Interaction 13 (2001), S. 13-40</i>	58	<p>67 Testpersonen mit Schmerzen benutzten die Anir-Maus, deren Form ähnlich einem Joystick ist. Die Intervention dauerte sechs Monate, wobei bereits während sechs Monaten eine vorausgehende Studie durchgeführt worden war, in der ein Teil der Testpersonen als Kontrollgruppe fungierte. Es wurden medizinische Tests durchgeführt, Fragebogen ausgewertet und die Performance getestet.</p> <p>Nacken-, Schulter-, Unterarm-, Hand-/Handgelenkschmerzen waren bei Benutzung der Anir-Maus in ihrer Häufigkeit und Stärke signifikant reduziert. Es wurden weniger durch muskuläre Probleme verursachte Krankheitstage registriert (von 3,1 auf 0 Tage). Bei den klinischen Untersuchungen zeigten praktisch alle Tests Befundverbesserungen.</p> <p>Hinsichtlich der Performance konnte mit der konventionellen Maus ein wenig schneller gearbeitet werden. Bei der alternativen Maus traten etwa 2,5 % mehr Fehler auf.</p> <p>Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass mit der ergonomischen Maus die Performance zwar etwas schlechter war, die Verbesserungen hinsichtlich der Schmerzen können dies aber aufwiegen.</p>	3
<i>Aaras, A.; Ro, O.: Position of the forearm and VDU work. In: Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society. 44th Annual Meetin, 29. Juli bis 4. August 2000, San Diego, USA. S. 648-649</i>	57	<p>Eine vergleichende Untersuchung zwischen einer konventionellen Maus und einer alternativen Maus, die durch eine Reduktion der Unterarm-Pronation eine neutralere Haltung ermöglicht (Anir-Maus, Form ähnlich wie ein Joystick), wurde durchgeführt. In der Laboruntersuchung wurden bei elf Testpersonen EMG-Messungen der Unterarmmuskulatur durchgeführt. In der Feldstudie benutzten 67 Testpersonen mit Beschwerden sechs Monate lang die neue bzw. die Kontrollgruppe die konventionelle Maus.</p> <p>Bei der Bedienung der alternativen Maus wurde eine geringere Muskelaktivität im Bereich des Unterarms gemessen. Die Schmerzintensivität konnte durch die Nutzung der alternativen Maus signifikant reduziert werden.</p> <p>Daraus wurde die Schlussfolgerung gezogen, dass eine Maus, die eine neutralere Unterarmposition unterstützt, zu bevorzugen ist.</p> <p>Allerdings wurde die Vorgehensweise bei der Untersuchung unzureichend beschrieben.</p>	1
<i>Aaras, A.; Ro, O.: Workload when using a mouse as an input device. Int. J. Hum.-Comput. Interactions 9 (1997), S. 105-118</i>	59	<p>13 Testpersonen trainierten während zweier Tage mit einer alternativen Maus (Form ähnlich einem Joystick). Anschließend wurden während 30 Minuten Arbeit mit der alternativen und einer konventionellen Maus EMG-Messungen durchgeführt.</p> <p>Die alternative Maus schnitt besser ab als die konventionelle. Die gemessenen Muskelaktivitäten im Unterarmbereich und bei Unterarmunterstützung auch die des</p>	2



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
		<i>M. trapezius</i> zeigten im EMG längere und mehr Entlastungszeiten (Mikropausen) bei der alternativen Maus.	
<i>Ackland, T.; Hendrie, G.:</i> Training the non-preferred hand for fine motor control using a computer mouse. <i>Int. J. Ind. Ergon.</i> 35 (2005), S. 149-155	70	<p>Durch abwechselnde Benutzung der Maus mit der rechten und linken Hand sollen monoton wiederholende Bewegungen für ein und dieselbe Struktur verringert werden.</p> <p>Bei 30 Testpersonen wurde die Verbesserung der Performance der nicht dominanten Hand durch 15 x 30 Minuten Training über einen Zeitraum von drei Wochen untersucht.</p> <p>Unterschiede zwischen dominanter und nicht dominanter Hand ließen sich auch nach drei Wochen Training noch nachweisen. Die Fertigkeit der linken Hand erreichte aber fast die der rechten Hand. Nach dem Training vergrößerte sich bei den Testpersonen der Wille, mit der nicht dominanten Hand zu arbeiten.</p>	2
<i>Blatter, B.; Bongers, P.:</i> Duration of computer use and mouse use in relation to musculoskeletal disorders of neck or upper limb. <i>Int. J. Ind. Ergon.</i> 30 (2002), S. 295-306	46	<p>In der vorliegenden Studie wurden die Dauer des Computer- und Mausgebrauchs sowie die Beschwerden der oberen Extremitäten von verschiedenen Arbeiter(inne)n erfasst. Die Ergebnisse für Männer und für Frauen wurden verglichen und der Zusammenhang zwischen Beschwerden und physischen und psychischen Risikofaktoren untersucht. 5 403 Testpersonen füllten einen Fragebogen aus.</p> <p>44 % der Testpersonen benutzten im Schnitt den Computer vier bis acht Stunden pro Tag, teilweise waren es sogar über 60 %. Die Maus wurde von 30 % vier bis acht Stunden pro Tag benutzt. 19,3 % der Testpersonen gaben Probleme in den oberen Extremitäten an, 10,3 % im Nacken-Schulter-Bereich, 2,6 % im Bereich Ellbogen, Arm, Handgelenk und Hand. Dabei zeigte sich ein Computergebrauch von mehr als sechs Stunden pro Tag bei Frauen stark, bei Männern moderat, mit Beschwerden in den oberen Extremitäten assoziiert. Bei Frauen konnte bereits zwischen vier und sechs Stunden Computernutzung pro Tag eine moderate Assoziation zu Beschwerden nachgewiesen werden. Der Zusammenhang zwischen anhaltenden statischen Positionen und langer Computernutzung war am stärksten. Von den Testpersonen, die sechs bis acht Stunden pro Tag den Computer benutzen, gaben 60 % an, ebenso lange mit der Maus zu arbeiten, 11 % benutzen die Maus gar nicht. Bei Berichten über Beschwerden wurden keine Unterschiede zwischen dem intensiven Mausgebrauch und geringen bis gar keinen Mausgebrauch festgestellt.</p> <p>Bei der Auswertung der Daten sollte berücksichtigt werden, dass sie durch eigene Angaben der Testpersonen erhoben worden sind.</p>	2
<i>Burgess-Limerick, R.; Shemmell, J. S.:</i> Wrist posture during computer pointing device use. <i>Clin. Biomech.</i> 14 (1999), S. 280-286	55	<i>Siehe Anhang C</i>	2



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
<p>Byström, J. U.; Hansson, G.; Rylander, L.; Ohlsson, K.; Kallrot, G.; Skerfving, S.: Physical workload on neck and upper limb using two CAD applications. Appl. Ergon. 33 (2002), S. 63-74</p>	--	<p>Untersucht wurden 15 Testpersonen. Verglichen wurden eine konventionelle Maus mit einer konventionellen Tastatur und das Arbeiten im Sitzen und im Stehen. Die Unterarme waren jeweils unterstützt. Gemessen wurden die Produktivität (Schnelligkeit), die Muskelaktivitäten mittels EMG (<i>M. trapezius</i> und Extensoren im Unterarm), Bewegungen des Kopfes, des oberen Rückens und der Oberarme mittels Inklinometer und die Handgelenkhaltungen und -bewegungen mittels Elektrogoniometer.</p> <p>Produktivität: Mit der Tastatur wurde tendenziell etwas schneller gearbeitet als mit der Maus, allerdings waren die Unterschiede nicht signifikant. Im Stehen wurde signifikant schneller als im Sitzen gearbeitet (13 zu 23 Minuten).</p> <p>Vergleich Maus mit Tastatur: Bei den Muskelaktivitäten des <i>M. trapezius</i> wurden große individuelle Unterschiede registriert. Es konnte keine Systematik erkannt werden. Für die Extensoren des rechten Unterarms wurden keine unterschiedlichen Werte festgestellt. Bei der Tastatur wurden für die Extensoren des linken Unterarms höhere Aktivitäten und weniger Pausen gemessen als bei der Maus (was logisch ist, da bei der rechtshändigen Mausbenutzung ja nur die rechte Hand arbeitet). In der Körperhaltung konnten keine signifikanten Unterschiede beobachtet werden. Der Kopf wurde beim Arbeiten mit der Tastatur öfter bewegt (abwechselnd auf Bildschirm und Tastatur schauen).</p> <p>Vergleich Sitzen mit Stehen: Beim <i>M. trapezius</i> wurden keine signifikant verschiedene EMG-Messwerte erhoben. Die Extensoren wiesen im Stehen höhere Aktivitäten auf (vor allem rechts), der Kopf wurde mehr, der oberer Rücken hingegen weniger vorgebeugt und die Oberarme befanden sich dichter am Oberkörper. Im Stehen wurden außerdem schnellere Bewegungen ausgeführt. Die Handgelenkhaltungen wiesen keine Unterschiede auf.</p>	2
<p>Cail, F.; Aptel, M.: Biomechanical stresses in computer-aided design and in data entry. Int. J. Occup. Saf. Ergon. 9 (2003), S. 235-255</p>	33	<p>Siehe Anhang A</p>	2
<p>Çakir, A.: RSI oder Mausarm – ein Standard macht krank! Computer-Fachwissen (2004) Nr. 9, S. 4-8</p>	56	<p>Die Breite der Standardtastatur beträgt nach ISO 9995: 283 mm + 150 mm = 433 mm. Die mittlere Schulterbreite des Mannes misst knapp 400 mm, die der Frau ca. 350 mm. Aus diesen Maßen lässt sich schließen, dass die Benutzung einer Maus neben einer Tastatur eine Zwangshaltung bewirkt, die zu einer Abduktion im Schultergelenk führt.</p> <p>Lösungsansätze und Empfehlungen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tastatur ohne numerischen Block beschaffen <p>Sollte dieser benötigt werden, gibt es die Möglichkeit, einen separaten numerischen Block zu verwenden.</p>	kein wissenschaftlicher Artikel



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
		<ul style="list-style-type: none"> • Eine Alternative zur Maus wählen, die weniger Platz einnimmt, z. B. Trackpad (= Touchpad), Stiftmaus (verbesserte Armhaltung, kleinere beanspruchte Fläche), eventuell Trackball, Griffel mit Tablettnutzung. • Software, die ohne Einsatz einer Maus nutzbar ist • Mikropausen/Arbeitswechsel/Haltungswechsel 	
<p>Cook, C. K.: Influence of mouse position on muscular activity in the neck, shoulder and arm in computer users. Appl. Ergon. 29 (1998), S. 439-443</p>	48	<p>Es wurden unterschiedliche Mauspositionen anhand der im EMG gemessenen Muskelaktivitäten und der beobachteten Arm- und Handhaltungen getestet und beurteilt. Dazu führten zehn Testpersonen während 3 x 20 Minuten Textkorrekturen aus. Die betrachteten Mauspositionen lassen sich wie folgt beschreiben: Standardposition (Tastatur mit numerischem Block, 405 mm lang, Maus gleich daneben), extreme Position (Tastatur mit numerischem Block, 405 mm lang, Maus weiter nach rechts und oben verschoben als bei normaler Position), kompakte Position (Tastatur ohne numerischen Block, 281mm lang). Unterarm und Handgelenk wurden auf der Arbeitsfläche aufgelegt.</p> <p>Ergebnisse: Die Aktivitäten des <i>M. trapezius</i> wiesen bei den verschiedenen Mauspositionen keine signifikanten Unterschiede auf. Der <i>M. deltoideus</i> wies mehr Aktivitäten bei der Standardposition als bei der Kompaktposition auf. Der vordere <i>M. deltoideus</i> war bei der Standardposition aktiver als bei Kompaktposition. Die Oberarmhaltungen waren bei 80 % der Testpersonen am besten bei der Kompaktposition, bei 20 % bei der Standardposition. Die Unterarmhaltungen fielen für alle bei der Kompaktposition am besten aus. Die Handgelenkhaltungen waren in allen Mauspositionen schlecht (entweder Handgelenk-Extension über 15° oder Ulnar-/Radialduktion).</p> <p>Zusammenfassend: Für rechtsseitige Mausbenutzer ist eine Tastatur ohne numerischen Block besser. Alternativ kann die Maus links benutzt werden.</p>	2
<p>Cooper, A.; Straker, L.: Mouse versus keyboard use: a comparison of shoulder muscle load. Int. J. Ind. Ergon. 22 (1998), S. 351-357</p>	--	<p>Acht Testpersonen verglichen eine konventionelle Tastatur mit einer Maus. Sie mussten zehn Minuten spielen, dabei wurden die Muskelaktivitäten mittels EMG gemessen, die Haltungen durch Beobachtung dokumentiert und der subjektive Diskomfort mittels Fragebogen ermittelt.</p> <p>Während der Mausbenutzung wurden im Vergleich zur Tastatur höhere Aktivitäten im vorderen <i>M. deltoideus</i>, dafür niedrigere im oberen <i>M. trapezius</i> registriert. Es gab sehr große individuelle Unterschiede. Die Testpersonen, die über erhöhten Diskomfort klagten, wiesen bei der Mausnutzung höhere Aktivitäten im <i>M. trapezius</i> und <i>M. deltoideus</i> auf als bei der Tastaturnutzung. Sieben Testpersonen hatten bei der Tastatur lediglich die Handgelenke abgestützt, bei sechs Testpersonen lag bei der Mausnutzung der ganze Unterarm, bei einer der vordere Teil des Unterarms auf.</p> <p>Insgesamt waren die Unterschiede wenig ausgeprägt.</p>	1



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
<p><i>Delisle, A.; Imbeau, D.; Santos, B.; Plamondon, A.; Montpetit, Y.:</i> Left-handed versus right-handed computer mouse use: effect on upper-extremity posture. <i>Appl. Ergon.</i> 35 (2004), S. 21-28</p>	53	<p>Die Schulter-Flexion und -Abduktion sind Risikofaktoren für Muskel-Skelett-Erkrankungen im Nacken und Schulterbereich. Der numerische Block einer Tastatur führt zu einer größeren Abduktion bei rechtsseitiger Mausbenutzung (RM) neben der Tastatur als bei einer linksseitigen (LM).</p> <p>An 27 Testpersonen wurden die Vor- und Nachteile der LM gegenüber der RM untersucht. Die Untersuchung erstreckte sich über einen Monat, wobei die erste Messung zu Beginn des Monats, die zweite nach der Eingewöhnungszeit durchgeführt wurde. Als Testparameter dienten die optoelektrisch ermittelten Arm- und Handhaltungen, die mittels Borg-Skala abgefragten subjektiven Empfindungen und die Performance. Für die Messungen mussten 45 Minuten lang unterschiedliche Aufgaben erledigt werden.</p> <p>Ergebnisse für LM und RM im Vergleich 1. Messung zu 2. Messung: LM reduzierte die Schulter-Abduktion um 16 % und die Schulter-Flexion um 29 %, während diese sich bei RM jeweils um 9 % verringerten. Für die Handgelenk-Extension ergab sich bei LM eine Reduktion um 21 % und bei RM um 10 %. Die Performance-Zeit war bei LM 8 % länger als bei RM, jedoch vergleichbar mit der Performance-Zeit der ersten Messung von RM.</p> <p>Schlussfolgerungen: Die Benutzung der Maus mit links scheint die oberen Extremitäten in neutralere Haltung zu bringen. Ob LM zu weniger gesundheitlichen Beschwerden führt, konnte in dieser Studie nicht untersucht werden. Die Performance-Zeit nach einem Monat war in etwa entsprechend der von RM zu Beginn der Messungen. Es wird empfohlen, wenn möglich mit einer Tastatur ohne numerischen Block zu arbeiten. Ist dies nicht möglich, bietet ein Seitenwechsel der Maus eine gute Alternative.</p>	2
<p><i>Dennerlein, J.; Johnson, P.:</i> Positions of the computer mouse within a thousand workstations. In: <i>Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society. 47th Annual Meeting</i>, 13.-17. Oktober 2003, Denver, USA. S. 1279-1282</p>	66	<p>An 1 000 Arbeitsplätzen wurde mittels Checklisten der Gebrauch von Zeigergeräten untersucht. Folgende Gerätetypen wurden gefunden: Maus, Maus mit Scroll-Rad, kabellose Maus, Trackball (5 %) und Touchpad (3 %).</p> <p>Positionen der Mäuse: 92 % hatten die Maus rechts von der Tastatur platziert, 4 % links; 54 % bis 22 cm entfernt rechts auf Höhe der Tastatur, 78 % im Abstand von bis zu 22 cm rechts der Tastatur, 14% rechts von der Tastatur weiter weg als 22 cm. Bei 79 % befand sich das Eingabemittel auf Höhe der Tastatur (gleicher Abstand von der Tischkante), 13 % höher, 8 % tiefer als die Tastatur.</p>	2
<p><i>Dennerlein, J.; Yang, M.:</i> Perceived musculoskeletal loading during use of a force-feedback computer mouse. In: <i>Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society. 43rd Annual Meeting</i>, 1999, Houston, USA</p>	74	<p>Die Studie beschäftigt sich mit der Maussoftware, insbesondere mit der Krafrückmeldung bzw. Unterstützung gezielter Mausbewegung mittels elektromagnetischer Kräfte. Dabei wurden Cursorkräfte in Richtung auszuwählender Punkte gerichtet (bei Bewegung in Richtung Ziel: 1. Beschleunigung in Richtung Ziel, 2. Verlangsamung der Maus bei Annäherung des Cursors an das Ziel, 3. feine Manipulation, um Ziel zu treffen). Die</p>	1



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
		<p>Kraftunterstützung soll die dritte Phase erleichtern, sodass der/die Benutzer/-in in dieser Phase entspannen kann. Die Software wurde in der Anwendung von 14 Testpersonen ausprobiert und mit dem Gebrauch einer normalen Maus verglichen.</p> <p>Mit der speziellen Maussoftware verringerte sich die Bewegungszeit um 25 % und die Fehlerquote sank um 43 %. Die Beurteilung fiel im Fragebogen in allen Punkten positiver aus. Die Performance wurde also durch das Kraft-Feedback bzw. die Unterstützung gezielter Mausebewegung mittels elektromagnetischer Kräfte verbessert, Diskomfort und Ermüdung wurden reduziert.</p> <p>Problem: Die Software wurde nur in einer gestellten Aufgabe angewendet. Für einen Transfer in den Alltag sind weitere Untersuchungen nötig.</p>	
<p><i>Dowell, W.; Fei, Y.; Green, B.: Office seating behaviours: an investigation of posture, task, and job type. In: Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society. 45th Annual Meeting, 8.-12. Oktober 2001, Minneapolis, USA. S. 1245-1248</i></p>	<p>47</p>	<p>Untersucht wurden in dieser Studie die Arbeitsmuster von vier verschiedenen Berufs- bzw. Beschäftigungskategorien:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verwaltung (viel Dateneingabe und Sekretariatsaufgaben) • Kundenservice (Telefondienst und die meiste Zeit Arbeit am Computer) • Techniker/Experten • leitende Positionen <p>40 Arbeitnehmer/-innen wurden während 31 Stunden mittels Video an ihrem Arbeitsplatz beobachtet.</p> <p>Mausbenutzung: Techniker/Experten verbrachten signifikant mehr Zeit (mit 43 % fast zweimal so viel) mit der Maus in der Hand als alle anderen Berufsgruppen. Über alle Berufs- bzw. Beschäftigungskategorien hinweg lagen die Werte zwischen 4,8 % und 43,4 % der Arbeitszeit.</p> <p>Tastaturbenutzung: 13,8 bis 32,5 % der Zeit wurde die Tastatur benutzt. Die Testpersonen vom Kundenservice verbrachten im Vergleich zu den anderen Berufs- bzw. Beschäftigungskategorien fast das Doppelte der Zeit beim Tippen auf der Tastatur.</p> <p>Lesen auf dem Bildschirm (ohne Tastatur- oder Mausebenutzung): 2,6 bis 13,9 % der Arbeitszeit wurde mit dieser Tätigkeit verbracht. Auch hier erreichten die Arbeiter/-innen vom Kundenservice mit fast 14 % die höchsten Zeitanteile.</p> <p>Arbeitspositionen: Die Testpersonen vom Kundenservice verbrachten mehr Zeit als die anderen in neutralen Armpositionen (50 % im Vergleich zu 15 bis 20 % bei den anderen Berufsgruppen).</p> <p>Den verschiedenen Beanspruchungen der einzelnen Berufsgruppen sollte beim Einrichten des Arbeitsplatzes Rechnung getragen werden.</p>	<p>3</p>



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
<p><i>Gustafsson, E.; Hagberg, M.:</i> Computer mouse use in two different hand positions: exposure, comfort, exertion and productivity. <i>Appl. Ergon.</i> 34 (2003), S.107-113</p>	60	<p>15 Testpersonen verglichen zwei Mäuse miteinander: eine Standardmaus (Microsoft 2.1 A) und einen Prototyp (Neutralmaus – ulnare Seite der Hand und des Handgelenks lag auf der Maus, Eingabemittel wurde mit ganzem Unterarm bewegt). Die Testpersonen hatten die Gelegenheit, einen halben Tag mit der alternativen Maus zu üben. Danach mussten sie während 15 Minuten Text korrigieren, wobei Messungen mit EMG und Elektrogoniometer durchgeführt sowie die Performance und der subjektive Diskomfort festgehalten wurden.</p> <p>Resultat: Beim Prototyp konnten zwar eine neutralere Haltung und weniger Muskelaktivität festgestellt werden, jedoch wurden Produktionseinbußen registriert und die Maus wurde von den Testpersonen nicht gut angenommen.</p>	3
<p><i>Harvey, R.; Peper, E.:</i> Surface electromyography and mouse use position. <i>Ergonomics</i> 40 (1997), S. 781-789</p>	67	<p>17 Testpersonen verglichen eine Maus und eine Laptop-Tastatur mit integriertem Trackball. Die Tastatur wurde vor den Testpersonen zentriert, die Maus befand sich gleich rechts neben der Standardtastatur (mit Mauspad, ca. 42 cm Abstand von der Mitte der Tastatur). Der Trackball auf dem Laptop wurde mittig vor den Testpersonen platziert. Während der jeweils einminütigen Tests wurden im EMG Muskelaktivitäten registriert. Zudem gaben die Testpersonen ihren subjektiven Komfort an.</p> <p>Die Maus seitlich der Tastatur erzwang eine Abduktion des Armes, was mit größerer Muskelaktivität einherging. Neuere, ergonomisch geformte Tastaturen sind meist eher breiter als konventionelle Tastaturen, erfordern also eine noch größere Arm-Abduktion. Ein in die Tastatur integrierter Trackball wäre somit von Vorteil.</p> <p>Problem: Die Tests waren sehr kurz und irrelevant.</p>	2
<p><i>Hedge, A.; Muss, T.; Barrero, M.:</i> Comparative study of two computer mouse designs. Hrsg.: Cornell University, Ithaca, 1999</p>	65	<p>24 Testpersonen testeten zwei verschiedene Mäuse: Microsoft Corporation Mouse (Maus A) und Humanscale, Whale Mouse (Maus B).</p> <p>Während der Tests von ca. zwei bis drei Minuten Dauer wurden die Handhaltungen mittels Elektrogoniometer, die Performance und der subjektive Komfort gemessen bzw. erfragt.</p> <p>In der Handhaltung konnten Unterschiede festgestellt werden, wobei bei Maus A die höhergradige Handgelenk-Extension im Vergleich zu Maus B zu verzeichnen war. Bei Maus B war die Schnelligkeit um ca. 19 % reduziert. In der Beurteilung durch subjektives Komfortempfinden schnitt Maus A besser ab. Da allerdings das Design von Maus B sehr unkonventionell war, würde sich dieses Ergebnis nach einer Eingewöhnungszeit eventuell verändern. Unterschiedliche Handproportionen hatten einen Einfluss auf die Ergebnisse.</p>	2



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
<p><i>Hoffmann, E.; Chang, W.; Yim, K.:</i> Computer mouse operation: is the left-handed user disadvantaged? Appl. Ergon. 28 (1997), S. 245-248</p>	73	<p>In dieser Studie wurde der Frage nachgegangen, ob Linkshänder/-innen (LH) im Nachteil sind, da die meisten Computerarbeitsplätze auf Rechtshänder (RH) ausgerichtet sind; d. h., die Maus wird mit rechts benutzt. Dazu absolvierten 20 Testpersonen, 10 LH, welche die Maus meist links benutzten, aber auch rechts geübt waren, und 10 RH einen kurzen Test. Es wurde untersucht, ob Unterschiede in der für eine Aufgabe benötigten Zeit vorhanden waren.</p> <p>Zwischen den beiden Gruppen gab es keinen Unterschied in der Performance, wenn beide ihre bevorzugte Hand (LH links, RH rechts) benutzten. Bei Arbeiten mit der nicht bevorzugten Hand hatten LH Vorteile, da ihre Performance keine signifikanten Einbußen erfuhr im Gegensatz zu den RH.</p>	1
<p><i>Jensen, C.; Borg, V.; Finsen, L.; Hansen, K.; Juul-Kristensen, B.; Christensen, H.:</i> Job demands, muscle activity and musculoskeletal symptoms in relation to work with the computer mouse. Scand. J. Work Environm. Health 24 (1998), S. 418-424</p>	49	<p>149 Arbeitnehmer/-innen einer dänischen Firma wurden mittels Fragebogen über ihre Gewohnheiten und Arbeitsumstände interviewt. Zusätzlich wurden bei 20 Testpersonen am Arbeitsplatz Beobachtungen und Messungen mit Elektrogoniometer und EMG durchgeführt.</p> <p>66 % benutzten die dominante Hand als Maushand, 25 % die nicht dominante Hand, 9 % arbeiteten abwechselnd mit der rechten und linken Hand.</p> <p>Auftretende Beschwerden über 12 Monate:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Maushand: Hand/Handgelenk 49 %, Ellbogen 35 %, Schulter 52 % • andere Hand: Hand/Handgelenk 13 %, Ellbogen 15 %, Schulter 19 % <p>Frauen gaben mehr Beschwerden in Hand/Handgelenk und Ellbogen an als Männer.</p> <p>Haltungen: Der Oberarm bei Mausnutzung war die meiste Zeit gebeugt und 0 bis 30° abduziert. Das Handgelenk war gestreckt und ulnardiagnostiziert während mehr als 90 % der Arbeitszeit.</p>	3
<p><i>Johnson, P.; Hagberg, M.; Hjelm, E.; Rempel, D.:</i> Measuring and characterizing force exposures during computer mouse use. Scand. J. Work Environm. Health 26 (2000), S. 398-405</p>	45	<p>Bei 16 Testpersonen wurde am Arbeitsplatz die auf die Maus ausgeübte Kraft sowohl auf Tasten als auch seitlich aufs Gehäuse gemessen. Die Kraftmessung erfolgte dabei an der Maus selbst. Nebst den alltäglichen Arbeiten mussten zwischendurch auch standardisierte Aufgaben gelöst werden.</p> <p>Die Maus wurde während 23,7 % der Arbeitszeit benutzt.</p> <p>Der gemessene Kraftaufwand betrug im Schnitt 0,5 % MVC (MVC ca. 80 N) seitlich auf das Mausgehäuse, 0,7 % MVC (MVC 50 N) auf die Tasten. Männer und Frauen wendeten gleich viel absolute Kraft auf, allerdings wendeten die Frauen geringfügig mehr Kraft relativ zu ihrem MVC, das bei Frauen kleiner war, auf als Männer. Es konnten keine Unterschiede bezüglich Tag oder Stunden ausgemacht werden.</p>	3



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung				
<p><i>Kabbash, P., MacKenzie, I. S.; Buxton, W.:</i> Human performance using computer input devices in the preferred and non-preferred hands. In: Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems – INTERCHI, New York (1993)</p>	72	<p>24 Testpersonen absolvierten standardisierte Point-and-select- und Drag-and-select-Aufgaben, um die Performance bei Benutzung von Maus, Trackball und Griffel mit Tablettnutzung zwischen der dominanten und nicht dominanten Hand zu vergleichen.</p> <p>Bei kurzen Distanzen und kleinen Zielobjekte war die Betätigung mit der dominanten Hand überlegen. Im entgegengesetzten Fall – also bei eher grobmotorischen Bewegungen – erwies sich die nicht dominante Hand allerdings als eine gute Alternative, z. B. fürs Scrollen mit der Maus. Für den Trackball ergaben sich die geringsten Unterschiede im Vergleich der rechtshändigen und linkshändigen Betätigung, aber er war auch das langsamste Eingabemittel. „Pointing“ mit Griffel schien weniger regelmäßige Fehler zu produzieren als mit Trackball und Maus. Die beiden Eingabemittel waren dafür beim „Dragging“ besser als der Griffel.</p>	2				
<p><i>Karlqvist, L.; Bernmark, E.; Ekenvall, L.; Hagberg, M.; Isaksson, A.; Rosto, T.:</i> Computer mouse position as a determinant of posture, muscular load and perceived exertion. Scand. J. Work Environm. Health 24 (1998), S. 62-73</p>	68	<p>20 Testpersonen absolvierten Tests von jeweils zwei Minuten Länge in sechs verschiedenen Mauspositionen: Maus direkt (B und A), 40 cm (C und D) und 60 cm (E und F) rechts neben der Tastatur, jeweils 10 cm (A, C und E) oder 20 cm (B, D und F) von der Tischkante entfernt.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block; margin-bottom: 10px;"> <table style="border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 5px;">Tastatur</td> <td style="padding: 2px 5px;">B D F</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 5px;"></td> <td style="padding: 2px 5px;">A C E</td> </tr> </table> </div> <p>Es wurden optoelektrische Haltungsmessungen und EMG durchgeführt, zudem wurde ein Fragebogen zu Komfort/Diskomfort ausgewertet.</p> <p>Haltungsmessungen: Bei Positionen E und F zeigten sich insbesondere bei kleineren Personen große Winkel für die Auswärtsrotation und Abduktion der Schulter. Bei Position A hingegen war eine Schulter-Innenrotation zu beobachten.</p> <p>Subjektive Eindrücke: Sieben große und fünf kleine Testpersonen fanden Position D am komfortabelsten (in der Position haben sich auch viele mit dem Unterarm auf Tisch oder Armlehne abgestützt), dann folgten Positionen C, B und F; niemand mochte Position E.</p> <p>Praxis: Die meisten Personen arbeiten mit der Maus in Position C und D, viele sogar in Position E und F. Position B ist aus ergonomischer Sicht zu bevorzugen. Hier ist es leicht, den Unterarm aufzulegen, was sich bei großen Testpersonen in niedrigen Trapeziusaktivitäten und geringerer wahrgenommener Anstrengung widerspiegelt. Haltungen im Schulter-Arm-Bereich sind nah an der Neutralstellung. Die Autoren sind überzeugt, dass durch Infos und Training viele in dieser Position gut arbeiten könnten.</p>	Tastatur	B D F		A C E	2
Tastatur	B D F						
	A C E						



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
		<p>Problem: Die Testpersonen nahmen verschiedene Körperhaltungen während der Tests ein; d. h., das Auflegen der Arme und die Höhe der Stühle waren unterschiedlich.</p>	
<p><i>Karlqvist, L.; Hagberg, M.; Selin, K.: Variation in upper limb posture and movement during word processing with and without mouse use. Ergonomics 37 (1994), S. 1261-1267</i></p>	50	<p>Um die Arbeit mit der Tastatur ohne Maus und mit Maus vergleichend zu untersuchen, korrigierten 24 Testpersonen jeweils 30 Minuten lang Texte. Es wurden Videoaufnahmen gemacht, anhand derer die Hand- und Armstellungen ermittelt wurden. Außerdem wurden die Performance und der subjektive Diskomfort erfasst.</p> <p>Gelenkstellungen: Die Ulnarduktion betrug im Mittel 17,6° mit Maus, 1,8° ohne Maus. Mit Maus befanden sich die Handgelenke 34 % der Zeit in Ulnarduktion von 15 bis 30° und 30 % der Zeit in Ulnarduktion > 30°, während ohne Maus eine mittelgradige Ulnarduktion während 2 % der Zeit und eine endgradige zu keiner Zeit ermittelt wurde. Ohne Maus betrug die Ulnarduktion 62 % der Zeit 0 bis 15° und die restlichen 34 % der Zeit konnte das Handgelenk in Radialduktion beobachtet werden. Mit Maus war die Schulter in einem Winkel zwischen 5 und 45° auswärts rotiert, ohne Maus zwischen 65° nach innen und 10° nach außen rotiert. Die Nackenbeugung betrug unter beiden Bedingungen ca. 38,5°.</p> <p>Subjektiver Diskomfort: Die Testpersonen gaben beim Arbeiten mit der Maus weniger Diskomfort an als ohne Maus.</p> <p>Performance: Mit Maus waren die Testpersonen schneller und machten weniger Fehler als ohne.</p> <p>Zusammenfassend: Arbeiten mit der Maus neben der Tastatur verursachte mehr Belastungen, dafür konnten die Text schneller und besser – mit weniger Fehlern – korrigiert werden.</p> <p>Probleme: Die Messungen wurden nicht validiert. Die Werte für die Ulnarduktion bei Arbeit mit der Tastatur wichen extrem von denen anderer Studien ab.</p>	2
<p><i>Keir, P.; Bach, J.; Rempel, D.: Effects of computer mouse design and task on carpal tunnel pressure. Ergonomics 42 (1999), S. 1350-1360</i></p>	51	<p>14 Testpersonen testeten drei verschiedene Mäuse:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Maus A – Contour Mouse • Maus B – Apple II ADB Mouse • Maus C – Microsoft Serial Mouse. <p>Messparameter waren dabei der mit einem Katheter gemessene Karpaltunneldruck (CTP) und die mit einem Elektrogoniometer erfassten Handgelenkshaltungen. Für die</p>	2



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
		<p>Untersuchung wurden standardisierte Drag-and-drop-Aufgaben, bei Maus C zusätzlich Point-and-click-Aufgaben ausgeführt. Vor den Aufgaben wurde jeweils die Haltung mit der ruhenden Hand auf der Maus registriert (Resting).</p> <p>CTP: Der CTP betrug im Mittel 5,3 mmHg, beim Resting auf Maus A 18,7 mmHg, auf Maus B 16,8 mmHg und auf Maus C 18,4 mmHg. Beim Dragging erhöhte sich der CTP bei Maus A auf 28,8 mmHg, bei Maus B auf 31,1 mmHg und bei Maus auf C 33,1 mmHg, um sich im Verlauf der Drag-and-drop-Aufgabe geringfügig zu senken. Diese Unterschiede waren nicht signifikant.</p> <p>Haltungen: Die Handgelenk-Extension während der Aufgaben lag zwischen 25 und 30°, beim Resting zwischen 23 und 28°. Bei allen wurde für die Ulnardeviation nicht mehr als 5,2° Abweichung von der Neutralhaltung beobachtet.</p> <p>Zusammenfassend: Für alle drei Mäuse ergaben sich ähnliche CTP-Werte und Handgelenkhaltungen.</p>	
<p>Lee, D.; Fleisher, J.; McLoone, H.; Kotani, K.; Dennerlein, J.: Alternative computer mouse design to reduce static finger extensor muscle activity. Hum. Factors 49 (2007) Nr. 4, S. 573-584</p>	64	<p>Mit dem Ziel, die statische Muskelaktivität der Fingerstrecker zu reduzieren, wurden vier neu gestaltete Mäuse entwickelt und im Vergleich zu einer Referenzmaus (RM) untersucht.</p> <ul style="list-style-type: none"> • NR: Bei dieser Maus wurde die rechte Taste durch eine fixierte Oberfläche ersetzt, sodass der Mittelfinger auf der Maus ruhen konnte, ohne Gefahr zu laufen, die Taste unabsichtlich zu betätigen. • HI: Bis auf die erforderliche Kraft, die Tasten zu betätigen (HI 1,29 N, Referenzmaus 0,64 N) war diese Maus mit der Referenzmaus identisch. • PF: Bei der Push-Forward-Maus wurde die linke Taste so angeordnet und geformt, dass der Finger zur Betätigung nach vorne gedrückt werden musste; damit stand die Bewegungsrichtung fast senkrecht zu der, in welcher der Finger in Ruhestellung Druck ausübte. Die erforderliche Betätigungskraft war gleich hoch wie bei der Referenzmaus (0,64 N). Die rechte Taste war wie bei NR fixiert. • SF: Bei der Slide-Forward-Maus musste die Taste wie bei PF vorwärts betätigt werden, die Gestalt des Gehäuses unterschied sich aber kaum von der konventionellen Maus. Die Tastenbetätigung nach vorne wurde durch eine raue Oberfläche ermöglicht. Erforderliche Kraft und rechte Taste waren wie bei PF konzipiert. <p>20 Testpersonen testeten die Mäuse im Rahmen von drei Aufgaben (Point-and-click, Steuern und Objekt verschieben). Eine Aufgabe dauerte jeweils zwei bis fünf Minuten. EMG wurde vom <i>M. extensor digitorum communis</i> (EDC), vom <i>M. flexor digitorum superficialis</i> (FDS) und den <i>Mm. interossei</i> (dorsal) abgeleitet.</p>	2



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
		<p>Für PF und SF konnte die Reduktion der statischen Muskelaktivität von den Fingerextensoren im Vergleich zur Referenzmaus und zu NR um bis zu 22 % nachgewiesen werden. Der Werte für den Mittelfinger folgten dem gleichen Trend, die Unterschiede waren aber nicht signifikant. Im Gegenzug erhöhte sich die Muskelaktivität der Flexoren durch statische Belastungen. Dieser Effekt war auch bei HI messbar, aber ohne dass sich die Muskelaktivität der Extensoren im Vergleich zur Referenzmaus und zu NR veränderte. Bei der dynamisch verursachten Muskelaktivität zeigte das Zeigefinger-EMG der Extensoren bei HI im Vergleich zu allen anderen Designs bis zu 12 % höhere Werte und die der Flexoren war bei HI, PF und SF erhöht.</p> <p>Zusammenfassend: Zwar sprechen die Ergebnisse für PF und SF für eine verringerte Belastung der Extensoren, während diese beiden Designs die Muskelaktivität der Flexoren eher nachteilig beeinflussen.</p>	
<p>Marcus, M.; Gerr, F.; Monteilh, C.; Ortiz, D. J.; Gentry, E.; Cohen, S.; Edwards, A.; Ensor, C.; Kleinbaum, D.: A prospective study of computer users: II. Postural risk factors for musculoskeletal symptoms and disorders. Am. J. Ind. Med. 41 (2002), S. 236-249</p>	34	<p>Siehe Anhang A</p>	3
<p>Mierdel, B.: Belastung des Hand-Arm-Systems durch Benutzung der Computermaus – Gestaltung einer alternativen Bedienfläche. Wiss. Z. TU Dresden 42 (1993), S. 42</p>	69	<p>Zwölf Testpersonen arbeiteten mit dem am Arbeitstisch befestigten höhenverstellbaren (60 bis 90 cm) und in lateraler sowie sagittaler Richtung jeweils zwischen -90° und +90° geneigt einstellbaren Maustisch von Practical Posture Limited (Oxford). Die Testpersonen konnten während ein bis vier Tagen den Maustisch benutzen und verstellen, bis sie sich wohl fühlten.</p> <p>Bevorzugte Einstellungen des Maustisches und subjektive Bewertung: Höhe 7,5 ± 3 cm unter der Arbeitstischhöhe, dabei Winkel zwischen Ober- und Unterarm 95 bis 155°, seitliche Neigung des Maustisches 3 ± 5°, sagittale Neigung 4 ± 6°. Die erwartete Einstellung der seitlichen Neigung in ulnare Richtung wurde von acht Personen gewählt. Die individuell einstellbare Bedienebene wurde von allen Testpersonen als sehr angenehm empfunden.</p> <p>Als Problem erwiesen sich die Behinderungen durch den zusätzlichen Maustisch beim Aufstehen und Setzen und dessen Kollisionen mit der Stuhllehne.</p> <p>EMG-Messungen oder Ähnliches wurden nicht durchgeführt.</p>	2
<p>Paul, R.; Nair, C.: Ergonomic evaluation of keyboard and mouse tray designs. In: Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society. 40th Annual Meeting, 2.-6. September 1996, Philadelphia, USA. S. 632-636</p>	--	<p>In dieser Studie wurden vier Arbeitsplatzanordnungen von Tastatur und Maus hinsichtlich der Belastungen für das Muskel-Skelett-System im Vergleich zu einem Referenzarbeitsplatz untersucht:</p>	2



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
		<ul style="list-style-type: none"> • A: Mauspad 45° nach innen rotiert an Tastatur, auf gleicher Höhe wie Tastatur • B: Mauspad in gerader Verlängerung an Tastatur, auf gleicher Höhe wie Tastatur • C: in Höhe und Neigung einstellbare Tastatur mit höhenverstellbarem Mauspad • D: ca. 5 cm über der Tastatur, über den numerischen Block schwenkbares Mauspad • Referenzarbeitsplatz mit einer flachen, nicht verstellbaren Arbeitsfläche <p>Während der 30-minütigen Untersuchung führten acht Testpersonen Textverarbeitungsaufgaben aus und es wurden die Muskelaktivität (<i>M. flexor carpi radialis</i>, <i>M. extensor carpi radialis</i>) im EMG sowie die Hand- und Armpositionen mittels Elektrogoniometer erfasst, Videos aufgenommen, der Komfort erfragt und die Produktivität gemessen.</p> <p>Der Referenzarbeitsplatz liefert für alle Parameter die schlechtesten Ergebnisse. Von den anderen vier Anordnungen konnte keine als beste eingestuft werden. Zu Handgelenk-Extension, -Flexion und der Komforteinschätzung schnitt B am besten ab. Das EMG der Flexoren, die Ellbogen-Flexion und Schulter-Abduktion war bei D am besten. Diese beiden Anordnungen wurden hinsichtlich Komfort fast gleich beurteilt. Obwohl C mehr Einstellungsfreiheiten zuließ, erzielte diese Anordnung keine besseren Ergebnisse. Dies weist darauf hin, dass eine integrierte Tastatur- und Mauspadanordnung eher den Gewohnheiten der Benutzern entspricht.</p>	
<p><i>Pekelney, R.; Chu, R.:</i> Design criteria of an ergonomic mouse computer input device. In: Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society. 39th Annual Meeting, 9.-13. Oktober 1995, San Diego, USA, S. 369-373</p>	63	<p>In diesem Artikel wurde die Entwicklung der Kriterien für die Neugestaltung einer Maus, der Kensington Thinking Mouse, dargestellt. Dabei wurden Überlegungen zum Design und zur Software angestellt und diverse Studien zu Rate gezogen, um die möglichen Belastungen bei der Mausbenutzung (Kraft, ungünstige, statische oder erzwungene Haltungen, Repetitionen, Fehlen angemessener Pausen, Stress) zu minimieren.</p> <p>Die Kensington Thinking Mouse wurde mit folgenden Merkmalen versehen: seitliche Einbuchtungen, Maus vorne flacher und schmaler als hinten, vier Tasten (zwei vorne, zwei zurückgesetzt), symmetrisches Design, Software zum Programmieren der Tasten, zur Beschleunigung, zum Zielen mit dem Cursor und zur Pausenerinnerung.</p> <p>Dieser Artikel gibt ein gutes Beispiel, wie man das Design eines Eingabemittels entwerfen könnte. Erste Anwender reagierten laut Autoren positiv. Bei <i>Woods (2002)</i> schnitt die Thinking Mouse allerdings sehr schlecht ab. Die veränderte Anordnung der vier Tasten erfordert einige Übung und die spezifische Software könnte Probleme bereiten.</p>	keine wissenschaftliche Untersuchung
<p><i>Peters, M.; Ivanoff, J.:</i> Performance asymmetries in computer mouse control of right-handers, and left-handers with left- and right-handed mouse experience. <i>J. Mot. Behav.</i> 31 (1999), S. 86-94</p>	71	<p>Diese Studie untersuchte die Performance-Unterschiede rechts- und linkshändiger Mausbenutzer/-innen (insgesamt 73 Testpersonen), die Erfahrung in der Benutzung der Maus mit der nicht dominanten Hand hatten.</p>	2



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
		Über alle Aufgaben gesehen betragen die Unterschiede zwischen dominanter und nicht dominanter Hand weniger als 0,2 s. Ein Wechseln der Benutzerhand sollte bei Bedarf also kein Problem sein.	
<p><i>Smith, W.; Edmiston, B.; Cronin, D.</i>: Ergonomic test of two hand-contoured mice. Hrsg.: Global Ergonomic Technologies, Palo Alto (California) 1997</p>	62	<p>76 Testpersonen verglichen zwei Mäuse:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Contour Design Mouse: aufsteigende Form in Richtung Spitze, um Druck von der Handfläche zu nehmen; kleinfingerseitig flachere Maus, um die Pronation zu verringern; Unterstützung für Daumen vorhanden, drei Tasten; größer als Microsoft-Maus; Aktivierungskraft, um die Maus zu bewegen, kleiner als bei Microsoft-Maus • Microsoft Ergonomic Mouse: höher als konventionelle Maus; Nierenform, äußere Tastenneigung; Oberfläche, die besser entsprechend der Hand geformt ist; zwei Tasten <p>Über vier Stunden wurden Tests durchgeführt, um dabei die Muskelaktivität (EMG), die Handhaltungen (zwei Kameras) und die subjektive Einschätzung (Fragebogen) zu messen bzw. zu erfragen.</p> <p>Bei der Contourmaus wurden signifikant geringere Muskelaktivitäten für die meisten Positionen und Aufgaben registriert wohingegen die Unterschiede in der Haltung und Performance klein waren. Der subjektive Eindruck war bei der Contourmaus vor allem bei Komfort, Müdigkeit, Schmerzen besser.</p> <p>Zusammenfassend: Die Contourmaus erhielt aufgrund der niedrigeren biomechanischen Belastungen (geringer muskuläre Beanspruchung und ungünstige Haltungen) und als gut eingeschätzten Komfortwerten die beste Beurteilung, obwohl sie um einiges größer als die Microsoft Maus ist. Beide Mäuse haben trotz ihrer Größe besser abgeschnitten als die kleinere konventionelle Maus.</p>	2
<p><i>Thomsen, J.</i>: Carpal tunnel syndrome and the use of computer mouse and keyboard. Hrsg.: Dansk Selskab for Arbejds- og Miljømedicin, Glostrup 2005</p>	54	<p>Bei diesem Artikel handelt es sich um einen Review-Artikel, der den kausalen Zusammenhang zwischen CTS und Arbeiten mit dem Computer untersucht.</p> <p>Handgelenkstellungen: bei Benutzung der Maus: Handgelenk-Extension 23 bis 30°, Ulnardeviation 3,2 bis 5,2° bei Benutzung der Tastatur: Handgelenk-Extension 14 bis 20°, Ulnardeviation 18,9°</p> <p>Die erforderliche Fingerkraft beim Tippen beträgt 1 bis 7 N (meist 1 bis 4 N). Das ergibt eine mittlere Kraft auf die Sehne von 7,2 N. Bei der Maustaste liegt die Kraft unter 1 N (= 0,4 bis 1,5 % MVC).</p> <p>Der Druck im Karpaltunnel (Carpal Tunnel Pressure, CPT) beträgt bei Handgelenkhaltungen von -30° (Extension) bis +30° (Flexion) und leichter Ulnardeviation 3 bis</p>	Review-Artikel



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
		<p>13 mmHg, bei CTS-Patienten 10 bis 43 mmHg. Der CTP ist abhängig von den Haltungen des Unterarms, Handgelenks und den Gelenken zwischen Mittelhand und Fingern (metacarpophalangealen Gelenken, MCP). Bei Supination und MCP-Flexion entsteht ein größerer Druck. Bei einer Handgelenkposition zwischen -40° (Extension) und +40° (Flexion) und verschiedenen Gelenkstellungen in MCP steigt der CTP nicht über 20 mmHg. Ulnar- und Radialduktion haben keinen Einfluss auf den CTP.</p> <p>Bei Fingertippen mit 0, 5, 10 und 15 N steigt der CTP entsprechend auf 7,8, 14,1, 20 und 33,8 mmHg an. Bei gesunden Testpersonen beträgt der CTP während Computerarbeit 5,3 mmHg in Ruhe, die Werte des CTP steigen auf 16,8 bis 18,7 mmHG, wenn die Hand statisch auf der Maus liegt, und auf 22,8 bis 33,1 mmHg beim Ziehen und Klicken mit der Maus.</p> <p>Die Prävalenz von CTS unter Computerbenutzer/-innen basierend auf der Diagnose der Nervenleitung NCT (nerv conduction test) liegt bei ca. 1 %.</p> <p>Die betrachteten Studien wiesen viele Einschränkungen auf. Keine Studie konnte den ursächlichen Zusammenhang zwischen Computerarbeit mit Tastatur und Maus und CTS belegen und auch in der Gesamtschau liegen ungenügende Beweise dafür vor.</p>	
<p><i>Ullman, J.; Kangas, N.; Ullman, P.; Wartenberg, F.; Ericson, M.: A new approach to the mouse arm syndrome. Int. J. Occup. Saf. Ergon. 9 (2003), S. 463-477</i></p>	<p>61</p>	<p>Ein Eingabemittel sollte, um das Risiko für RSI zu minimieren, folgende Kriterien erfüllen:</p> <ul style="list-style-type: none"> extreme Haltungen wie Handgelenk-Extension, Radial- und Ulnarduktion sowie Pronation minimieren; die Ausführung von Aufgaben mit hohen Präzisionsanforderungen erlauben, ohne Oberarm- und Schultermuskulatur zu involvieren, d. h. mit unterstütztem Unterarm zu arbeiten; Klickfunktionen zur Verfügung stellen, die auch andere Muskeln als nur die Zeigefinger-Flexoren involvieren; Klicken mit gestreckten Fingern vermeiden (erfordert statische Extensoren-Anspannung); Bewegungsmuster erfordern, das sich von dem der Tastatur unterscheidet; Bewegungen unterstützen, die den schon früher gelernten Fertigkeiten ähnlich sind; Armbewegungen reduzieren, indem der Platz reduziert wird, den die Cursorbewegung benötigt; wahrgenommenen Komfort optimieren; intuitive Bedienung erlauben. <p>26 Testpersonen benutzen eine Griffelmaus (Ullman-mouse) im Vergleich mit zwei konventionellen Mäusen (Microsoft Intellimouse Optical und Apple Standard Ball Mouse). Es wurden EMG von <i>M. trapezius</i>, <i>M. levator scapulae</i>, <i>M. extensor digitorum</i> und <i>M. pronator teres</i> registriert und die Performance gemessen.</p> <p>Resultate:</p> <p>Die im EMG festgestellte Muskelaktivität war bei der Griffelmaus für alle Muskeln signifikant niedriger als bei den Vergleichsmäusen (Reduktion der Muskelaktivität für <i>M. trapezius</i> um 69 %, <i>M. levator scapulae</i> um 81 %, <i>M. extensor digitorum</i> um 46 %, <i>M. pronator teres</i> um 46 %). Die verringerte Muskelaktivität des <i>M. trapezius</i> und</p>	<p>2</p>



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
		<p><i>M. levator scapulae</i> weist darauf hin, dass die Griffelmaus eher mit Hand- als mit Arm-bewegungen bedient wurde. Die geringere Aktivität des <i>M. extensor digitorum</i> im EMG lässt auf eine reduzierte Belastung durch ungünstige Handgelenk-Extension schließen. Die Daten wurden am ersten oder zweiten Tag ermittelt, an denen die Testpersonen das erste Mal mit der Griffelmaus gearbeitet haben. Mit noch mehr Übung könnte es sein, dass die EMG-Messwerte noch niedriger ausfallen. Zudem verbesserte sich bereits an diesen ersten beiden Tagen die Performance in der Geschwindigkeit gegenüber der konventionellen Maus. Eine Studie im alltäglichen Gebrauch müsste noch durchgeführt werden.</p>	
<p>Wahlström, J.: Physical load in computer mouse work. Hrsg.: National Institute for Working Life, Stockholm 2001</p>	<p>52</p>	<p>An 36 Testpersonen wurde der Einfluss des Geschlechts auf den Mausgebrauch und die Arbeitstechnik untersucht. Es wurden zwei Laborstudien und eine Feldstudie durchgeführt. Zur Anwendung kamen: EMG, Messung der Kraft auf die Maus, Elektrogoniometer, Checklisten für Arbeitsmethode, Fragebogen, Beobachtung mittels Video, Messung des Blutdrucks und der Herzfrequenz.</p> <p>Zum Vergleich unter den Geschlechtern arbeiteten die Frauen an demselben Platz wie Männer. Frauen übten auf die Maustasten fast zweimal mehr Kraft bezogen auf MVC aus als Männer. Frauen bewegten ihre Hand auch in einem größeren ROM (Range of Motion), vor allem bei der Handgelenk-Extension (30,3° zu 25,9°) und Ulnarduktion (11.2° zu 7.2°) – wohl verursacht durch die geringeren Körpermaße.</p> <p>Arbeitstechnik Labor: Verglichen wurden drei Methoden der Mausbenutzung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • wrist-based (WB): ganzer Unterarm unterstützt, Bewegung aus dem Handgelenk • arm-based (AB): nur Handgelenk unterstützt, Bewegungen aus dem Schultergelenk • own method (OW): die üblicherweise benutzte Arbeitstechnik <p>Ergebnisse: Bei WB wurden größere mittlere Kräfte und Kraftspitzen (in % MVC), die seitlich auf die Maus aufgebracht wurden, registriert. Die Handgelenk-Extension fiel bei AB größer aus. Die höchste Muskelaktivität wurde im <i>M. trapezius</i> bei AB registriert, die niedrigste bei WB. Bei AB wurde die empfundene Anstrengung mehr im proximalen Bereich der oberen Extremität angegeben, bei WB hingegen wurde die größte Anstrengung im distalen Bereich wahrgenommen. OW wurde als angenehmste Technik angegeben, AB als am wenigsten bequem. Bei WB wurde am langsamsten gearbeitet, bei OW am schnellsten.</p> <p>Arbeitstechnik Feldstudie (mit Observationsprotokoll): In der Gruppe mit guter Arbeitstechnik konnte eine geringere Muskelaktivität ermittelt werden als in der mit schlechter Arbeitstechnik. In der Gruppe mit guter Arbeitstechnik wurden im EMG der Trapeziusmuskulatur auf der Seite des Armes, mit dem die Maus benutzt wurde, mehr Aktivitätspausen registriert und eine neutralere Handgelenkhaltung</p>	<p>3</p>



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
		<p>beobachtet. Die Gruppe mit schlechter Arbeitstechnik hatte ihren Unterarm seltener abgestützt. Der empfundene Komfort war unter den beiden Gruppen nicht signifikant unterschiedlich.</p> <p>Abschließend bleibt festzustellen, dass verschiedene Arbeitstechniken bei der Mausebenutzung die physische Belastung beeinflussen. Die Unterstützung des Unterarms führte zu einer geringeren Muskelaktivität im <i>M. trapezius</i> und geringerer Handgelenk-Extension. Frauen arbeiteten mit höherer relativer Muskelaktivität des <i>M. extensor digitorum</i> und übten mehr Kraft (in % MVC) auf die Maus aus als die Männer.</p> <p>Stress hatte großen Einfluss auf die physische Belastung.</p> <p>Fazit: Gute Arbeitstechnik lohnt sich!!</p>	



Anhang C: Inhalt der Literatur – Trackball

Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
<p><i>Bertuca, D.: Letting go of the mouse: using alternative computer input devices to improve productivity and reduce injury. OCLC Systems und Services 17 (2001), S. 79-83</i></p>	<p>78</p>	<p>In dem Artikel werden alternative Eingabemittel zur Maus vorgestellt, die nach Meinung des Autors besser sind. Es handelt sich nicht um einen wissenschaftlichen Artikel.</p> <p>Trackball: Er braucht wenig Platz und kann dichter ans Körperzentrum geschoben werden. Zudem braucht er keine ebene Unterfläche, kann z. B. auch auf den Schoß gelegt werden. Nach Meinung des Autors sind feine Bewegungen mit dem Trackball leichter möglich als mit der Maus, zudem braucht die Kugelbewegung weniger Kraft als die Mausbewegung. Je größer der Ball, desto leichter ist der Gebrauch. Einen Nachteil stellen Schmutz und Staub dar, die sich gerne in der Kugel absetzen.</p> <p>Touchpad: Die heutigen Touchpads sind zu klein, als dass sie eine sinnvolle Alternative zur Maus bieten könnten.</p> <p>Griffel mit Tablettnutzung: Ist eigentlich das „natürlichste“, aber das am wenigsten benutzte Eingabemittel. Es ist nicht nur ein Gerät für grafische Aufgaben. Nach Meinung des Autors ist es die beste Alternative für fast jede Computeraktivität. Auf dem Tablett können sich „Tasten“ befinden für verschiedene Funktionen. Die Handhabung des Griffels braucht wenig Übung. Ein bisschen Schmutz auf der Platte beeinträchtigt die Funktion nicht. Der Autor konnte durch den Griffel mit Tablettnutzung den Stress auf Hand und Arm deutlich reduzieren.</p> <p>Joystick: Ein Joystick ist für Spiele, bei denen schnelle Cursorbewegungen und spezielle Spiel-tasten gebraucht werden, geeignet. Bei Büroarbeitsplätzen spielen Joysticks keine Rolle.</p> <p>Der Autor empfiehlt die Benutzung von mehreren unterschiedlichen Eingabemitteln.</p>	<p>Review-Artikel, kein wissen- schaftlicher Artikel</p>
<p><i>Burgess-Limerick, R.; Green, B.: Using multiple case studies in ergonomics: an example of pointing device use. Int. J. Ind. Ergon. 26 (2000), S. 381-388</i></p>	<p>79</p>	<p>Thema der Studie war das Aufzeigen der Individualität in den Haltungen und Bewegungsmuster von Computerbenutzern. Dazu absolvierten sechs Testpersonen Click-and-point-Aufgaben mit zwei Eingabemitteln (s. u.). Dabei wurden die Handgelenk-Extension und Ulnarduktion gemessen.</p> <p>Maus: Apple Desktop Bus Mouse II</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mittelwert der Handgelenk-Extension 18,2° (Standardabweichung = 6°) • Mittelwert der Ulnarduktion 11° (Standardabweichung = 4°) 	<p>2</p>



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
		<p>Trackball: Kensington Turbo Mouse</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mittelwert der Handgelenk-Extension 23,1° (Standardabweichung = 4°) • Mittelwert der Ulnar duktion 5,7° (Standardabweichung = 5°) <p>Horizontale Cursorbewegungen bedingen eine größere maximale und durchschnittliche Ulnar duktion, bei der Handgelenk-Extension gab es keinen konsistenten Effekt. Die genannten Resultate stellen lediglich Durchschnittswerte bei großen individuellen Unterschieden dar. In der Betrachtung der Messwerte einzelner Testpersonen wird ersichtlich, dass z. B. der Trackball nicht bei allen zu einer nennenswerten Verminderung der Ulnar duktion führte. Ursachen dieser individuellen Unterschiede sind noch unklar.</p> <p>Deshalb muss insbesondere dann, wenn ein alternatives Eingabemittel eingesetzt wird, um z. B. Haltungsprobleme mit der Maus zu umgehen, im Einzelfall geprüft werden, ob das neue Eingabemittel tatsächlich eine Verbesserung bringt.</p>	
<p><i>Burgess-Limerick, R.; Shemmell, J. S.: Wrist posture during computer pointing device use. Clin. Biomech. 14 (1999), S. 280-286</i></p>	55	<p>An 12 Testpersonen wurden Messungen der Handgelenk-Extension und Ulnar duktion durchgeführt. Bei den standardisierten Point-and-click-Aufgaben wurden zwei verschiedene Eingabemittel benutzt (s. u.).</p> <p>Maus: Apple Desktop Bus Mouse II</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mittelwert der Handgelenk-Extension 19,1° (Standardabweichung = 6,8°) • Mittelwert der Ulnar duktion 10° (Standardabweichung = 6,9°) <p>Trackball: Kensington Turbo Mouse</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mittelwert der Handgelenk-Extension 25,1° (Standardabweichung = 5,8°) • Mittelwert der Ulnar duktion 6° (Standardabweichung = 7°) <p>Beim Trackball wurden größere Winkel für die Handgelenk-Extension und kleinere für die Ulnar duktion gemessen. Allerdings wurden große individuelle Unterschiede beobachtet.</p> <p>Für einige Benutzer kann also ein Trackball eine Alternative zur Maus sein, für andere nicht. Es muss individuell geprüft werden, wie sich die Handhaltungen entsprechend verändern. Woher die individuellen Unterschiede kommen, ist unklar. Es stellt sich die Frage, ob die Haltung durch Training verändert werden könnte, bzw. ob sich die Haltungen durch längere Trackballbenutzung ändern würden, da die Testpersonen dieser Studie im Alltag nur die Maus und keinen Trackball benutzten.</p> <p>Problem: Ergebnisse gelten nur für die beiden getesteten Zeigergeräte und nicht für Trackball und Maus allgemein, da die Handhaltungen auch durch neu gestaltete Gehäuse beeinflusst werden können.</p>	2



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
<p><i>Chaparro, A.; Bohan, M.; Fernandez, J.; Kattel, B.; Choi, S.:</i> Is the trackball a better input device for the older computer user? J. Occup. Rehab. 9 (1999), S. 33-43</p>	83	<p>20 Testpersonen (zehn jüngere, zehn ältere) absolvierten standardisierte Point-and-click- und Click-and-drag-Aufgaben mit jeweils einer Microsoft Zwei-Tasten-Maus und einem Kensington Expert Mouse Trackball. Es wurden EMG-Messungen an der Unterarm-Muskulatur durchgeführt und die Testpersonen füllten einen Fragebogen aus.</p> <p>Vergleich Maus mit Trackball: Die Bewegungen mit der Maus waren signifikant schneller als mit dem Trackball. Die Variabilität unterschied sich nicht. Bei der Maus wurden signifikant höhere Werte zur Ermüdung angegeben, besonders im Bereich des Unterarms, Handgelenks und der Hand.</p> <p>Vergleich Alt mit Jung: Ältere Testpersonen brauchten signifikant länger für die Aufgaben, dafür waren ihre Bewegungen weniger variabel (signifikant allerdings nur bei Bewegungen zu großen Zielobjekten hin). Im EMG wurden keine Unterschiede zwischen den Altersgruppen festgestellt. Bei beiden wiesen die Flexoren stärkere Signale auf als die Extensoren. Ältere Testpersonen gaben größere Anstrengungen bei Click-and-drag-Aufgaben mit der Maus an als Jüngere.</p> <p>Vergleich Point-and-click- und Click-and-drag-Aufgaben: Click-and-drag-Aufgaben brauchten mehr Zeit als Point-and-click-Aufgaben, sie rufen auch höhere elektrische Aktivitäten im EMG und größere Ermüdung hervor; die Variabilität unterschied sich nicht.</p> <p>Drei Viertel der Testpersonen bevorzugten den Trackball, unabhängig von Alter und Aufgabe.</p>	3
<p><i>Chase, D.; Casali, S.:</i> A comparison of three cursor control devices on a cursor control benchmark task. Hrsg.: Industrial and Systems Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University Blacksburg, 1991</p>	84	<p>Untersucht wurden drei Eingabemittel zur Performance: eine Ein-Tasten-Standard-Maus (Macintosh), ein Trackball mit Maustaste (Kensington Turbo Maus) und die Cursor-Tasten der Tastatur Macintosh SE definiert nach Easy Access (acht Pfeiltasten und drei Auswahlstasten). 12 Testpersonen absolvierten verschiedene Click-and-point-Aufgaben oder Dragging auf Start- und Zielfelder. Gemessen wurde die für die Aufgabe benötigte Zeit. Variablen: Eingabemittel, Größe der Zielobjekte, Distanz der Zielobjekte, Richtung, Tastenmodus (Klicken oder Taste gedrückt halten).</p> <p>Den Ergebnissen zufolge ermöglichten Maus und Trackball praktisch identisch gute Performance in Zielobjektgröße, -distanz und -richtung. Die beiden Eingabemittel waren schneller als die Cursortasten einer Tastatur.</p>	1



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
<p><i>Hancock, P.:</i> Effects of control order, augmented feedback, input device and practice on tracking performance and perceived workload. <i>Ergonomics</i> 39 (1996), S. 1146-1162</p>	85	<p>In dieser Studie, von der nur Teile für die Ergonomie der Eingabemittel relevant sind, wurde in mehreren Experimenten der Zusammenhang zwischen Performance und subjektivem Belastungsempfinden untersucht. Es nahmen sechs Testpersonen teil. Folgende Variablen wurden unterschiedlich kombiniert: Eingabemittel (Maus, Trackball), Aufgaben-Anweisung (Stufe 0 = Position, Stufe 1 = Geschwindigkeit, Stufe 2 = Beschleunigung), Feedback (nur Cursor in relativer Position zum Zielfeld, Cursor mit zusätzlicher Fehlerinformation).</p> <p>Performance: Je höher die Stufe der Aufgaben-Anweisung, desto mehr Fehler traten auf. Mit dem Trackball wurde eine bessere Performance als mit der Maus erzielt. Beim Feedback konnten keine Unterschiede festgestellt werden.</p> <p>Interaktionen: Bei Anweisungen der Stufe 0 war die Performance zwischen Maus und Trackball gleich, bei höheren Stufen stiegen die Fehler mit der Maus mehr als mit dem Trackball. Bei zusätzlichem Feedback stieg die Leistungsfähigkeit mit dem Trackball, mit der Maus wurde die Effizienz schlechter. Die wahrgenommene Belastung stieg bei höheren Anweisungs-Stufen. Bei Stufe 0 wurde kein Belastungsunterschied zwischen Maus und Trackball festgestellt. Bei Stufe 1 und 2 fiel die wahrgenommene Belastung beim Trackball niedriger aus als bei der Maus. Eine bessere Performance ging einher mit geringeren Belastungswahrnehmungen. Zusammenfassend lieferte der Trackball in dieser Studie bessere Ergebnisse als die Maus.</p>	1
<p><i>Hsu, P.; Wang, M.:</i> Trackball evaluation under different tasks. Hrsg.: Department of Industrial Engineering and Engineering Management, National Tsing-Hua University, Taiwan</p>	82	<p>In dieser Studie wurden in Versuchen mit 12 Testpersonen drei Trackballs und eine Maus (konventionelles Design) miteinander verglichen. Die Kugel der unterschiedlichen Trackballs wurde mit dem Daumen (DT), dem Zeigefinger (ZT) oder mit dem Mittelfinger (MT) bedient. Die Testpersonen waren nur ein Arbeiten mit der Maus gewohnt.</p> <p>Gemessen wurden die Körperhaltung, die Muskelaktivitäten, die Performance und das subjektive Empfinden.</p> <ul style="list-style-type: none"> • MT: Dieser Trackball wies die schlechtesten Körperhaltungen und subjektiven Rückmeldungen auf. Außerdem wurden hohe Muskelaktivitäten registriert. Bei langsamen präzisen Cursorbewegungen erwies sich dieser Trackball hinsichtlich der Performance als gutes, bei schnellen präzisen Bewegungen als schlechtes Eingabemittel. • DT: Bei diesem Trackball wurden eine gute Körperhaltung und geringe Muskelaktivitäten beobachtet. Die subjektiven Rückmeldungen fielen positiv aus. Der mit dem Daumen bediente Trackball wurde bei langem Arbeiten empfohlen, auch wenn er die Ausfüh- 	2



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
		<p>rung von Präzision erfordernden Aufgaben teils nur in langsamerem Tempo erlaubte.</p> <ul style="list-style-type: none"> • ZT: Hier wurden große Finger-Extensionen registriert. Trotzdem kam von den Testpersonen ein gutes Feedback, wohl weil sie das Gefühl hatten, mit dem Zeigefinger die beste Kontrolle über die Rollkugel zu haben. Empfohlen wurde dieser Trackball aber nur für kurze Computerbenutzungen. • Maus: Die Maus schnitt in der Performance besser als alle drei Trackballs ab, erhielt aber das schlechteste subjektive Feedback. Es konnte eine Tendenz zur Handgelenk-Extension und zu vielen Armbewegungen beobachtet werden; also sind große Bewegungsräume notwendig. Empfohlen wurde die Maus für Aufgaben mit hoher Präzision und schnelle Arbeitsabläufe während kurzer Arbeitszeiten. <p>Fazit: Für lange Arbeitszeiten werden mit dem Daumen bedienbare Trackballs empfohlen.</p>	
<p><i>Kabbash, P., MacKenzie, I. S.; Buxton, W.</i>: Human performance using computer input devices in the preferred and non-preferred hands. In: Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems – INTERCHI, New York (1993)</p>	72	<p><i>Siehe Anhang B</i></p>	2
<p><i>Karlqvist, L.; Bernmark, E.; Ekenvall, L.; Hagberg, M.; Isaksson, A.; Rostö, T.</i>: Computer mouse and trackball operation: Similarities and differences in posture, muscular load and perceived exertion. <i>Int. J. Ind. Ergon.</i> 23 (1999) S. 157-169</p>	80	<p>In dieser Studie wurde die Benutzung einer Maus und eines Trackballs hinsichtlich Haltung (Messung), Muskelbelastung (EMG), empfundenem Krafteraufwand und Performance an 20 Testpersonen (zehn Frauen, zehn Männer) während einer 15-minütigen Textkorrektur im Vergleich untersucht. Bei der Maus handelte es sich um eine Apple Bus Mouse II, beim Trackball um einen Kensington Trackball.</p> <p>Haltung: Zwischen Maus und Trackball wurden nur geringe Haltungsunterschiede gefunden. Die Winkel der Handgelenk-Extension waren bei Verwendung des Trackballs größer, dafür konnte eine geringere Schulter-Anhebung registriert werden. Bei beiden Eingabemitteln zeigten die Frauen größere Bewegungen im Sinne der Schulter-Auswärtsrotationen und der Schulter-Anhebungen als Männer.</p> <p>EMG: In den EMG-Messdaten für den rechten <i>M. trapezius</i> zeigte sich eine geringere Aktivität bei Benutzung des Trackballs als der Maus. Frauen arbeiteten allgemein mit höheren Muskelaktivitäten relativ zum MVC als Männer (Männer 25 bis 71 % MVC der Frauen). Von denen, die mit unterstütztem Unterarm arbeiteten (fünf bei Trackball, fünf bei</p>	3



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
		<p>Maus), hatten alle fünf beim Trackball die niedrigsten % MVC im rechten <i>M. trapezius</i>.</p> <p>Höhe der Arbeitsfläche: Neun Testpersonen stellten den Arbeitsplatz so ein, dass sich die Tischplatte 30 bis 90 mm über dem Ellbogen befand, bei neun Testpersonen weniger als 30 mm, diese wiesen geringere Aktivitäten im <i>M. trapezius</i> und <i>M. deltoideus</i> auf.</p> <p>Empfundener Kraftaufwand: Zwischen den beiden Eingabemitteln wurden nur geringe Unterschiede gefunden. In Hand- und Unterarmbereich wurde mehr Ermüdung beim Arbeiten mit dem Trackball als bei denen mit der Maus angegeben. 12 Testpersonen bevorzugten die Maus, acht den Trackball, wobei Frauen positivere Rückmeldungen für den Trackball abgaben als die Männer.</p> <p>Performance: Maus und Trackball lieferten nur wenig verschiedene Ergebnisse zur Produktivität.</p> <p>Als allgemeine Schlussfolgerung aus den Ergebnissen ergab sich, dass ein Eingabemittel, das natürliche Schultergelenkhaltungen mit unterstützten Unterarmen wenig Armbewegungen ermöglicht, eine Herabsetzung der EMG-gemessenen Muskelaktivitäten bewirkt. Ein Eingabemittel, das natürliche Hand- und Handgelenkhaltungen mit unterstützten Unterarmen/Händen ermöglicht und auf die Größe der Hand abgestimmt ist, bewirkt eine Herabsetzung der Unterarm-Muskelaktivitäten.</p> <p>Allerdings wiesen die Untersuchungsergebnisse für fast alle Parameter große individuelle Unterschiede auf. Für ein Eingabemittel waren sie nicht konsistent positiv. Für Arbeiten mit dem Trackball z. B. konnte eine geringere Anhebung und Muskelaktivität der Schulter, aber größere Winkel für die Handgelenk-Extension registriert werden. Eine Armauflage reduzierte die Belastungen im Nacken- und Schulterbereich. Eine Arbeitsfläche, die weniger als 3 cm über dem Ellbogen lag, erlaubte eine Armunterstützung und damit eine Entlastung der Schultermuskulatur ohne unnötige Schulteranhebung.</p> <p>Probleme: 15 Minuten Arbeiten werden als zu kurze Testphase erachtet. Es wurden nur zwei spezifische Ausführungen eines Trackballs und einer Maus untersucht, sodass die Ergebnisse nicht unbedingt auf andere übertragbar sind.</p>	
<p>Keuning, H.; Monne, T. K.; IJsselsteijn, W. A.; Houtsma, J. M.: The form of augmented force-feedback fields and the efficiency and satisfaction in computer-aided pointing tasks. Hum. Factors 47 (2005), S. 418-429</p>	89	<p>In anderen Studien konnte festgestellt werden, dass mit Krafrückmeldungen unterstützte Zeigeaufgaben bei der Computerarbeit, wenn sich z. B. der Zielbereich anfühlt, als ob der Ball in ein Loch rollen würde, bis zu 25 % schneller durchgeführt wurden. In dieser Studie sollte nun untersucht werden, ob es ein optimales Kraft-Feedback gibt und welcher Art es verwirklicht werden sollte. 12 Testpersonen lösten vorgegebene Click-and-point-Aufgaben unter folgenden Bedingungen der Krafrückmeldung:</p>	2



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
		<ul style="list-style-type: none"> • A: gradueller Kraftaufbau bzw. -abfall zu Beginn und am Ende der Bewegung • B: gradueller Kraftaufbau, abrupter Kraftabfall • C: abrupter Kraftaufbau, gradueller Kraftabfall <p>kombiniert mit zwei unterschiedlichen Kraftlevels (340 mN und 140 mN). Als Beurteilungsparameter wurden die Effizienz (Geschwindigkeit) und Zufriedenheit (Fragebogen) der Testpersonen ermittelt.</p> <p>Zufriedenheit: Die Testpersonen konnten nach ihrer Zufriedenheit in eine Gruppe, die das höhere, und eine, die das niedrigere Kraftlevel bevorzugte. Eine weitere Differenzierung des bevorzugten Kraftverlaufs konnte in dieser Gruppe nicht festgestellt werden. Abrupt beginnende Kraftfelder wurden jedoch weniger geschätzt.</p> <p>Effizienz: Die Gruppe, die das höhere Kraftlevel bevorzugte, absolvierte die Aufgaben schneller. Der Verlauf des Kraftaufbaus schien die Effizienz nicht zu beeinflussen; es fand sich kein Unterschied in der Effizienz zwischen A und C. Ein abrupter Kraftabfall schien hingegen hilfreich.</p> <p>Aus verschiedener Literatur geht hervor, dass Krafrückmeldungen Einfluss auf die Performance haben. Diese Studie konnte aufzeigen, dass die Form des Kraftfeldes eine Rolle spielt.</p>	
<p><i>Kliewer, B.:</i> More than upside-down mice. Byte 15 (1990), S. 175-180</p>	<p>76</p>	<p>Hier handelt es sich nicht um einen wissenschaftlichen Artikel, sondern lediglich um Stellungnahmen zu fünf (etwas älteren) Trackballausführungen.</p> <p>Eigentlich sollten Trackballs im Vergleich zur Maus komfortabler sein, weil mit der Maus die ganze Hand oder gar der Arm bewegt wird, beim Trackball lediglich die Kugel mit den Fingern. Zudem braucht der Trackball weniger Platz, weil er an einem Ort fest steht. Nachteil: Ein Trackball kann nicht wie die Maus schnell zur Seite geschoben werden, wenn er nicht gebraucht wird, weil die Haftreibung größer ist.</p> <p>Allgemeine Aussagen dazu, worauf bei einem Trackball Acht gegeben werden muss:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Die Größe des Trackballs sollte der Anthropometrie des Benutzers angepasst sein. • Die Beschleunigungskurve der Kugel ist wichtig und teils einstellbar. • Die Leichtigkeit des Kugellaufes bei guter Kontrolle ist erforderlich für präzises Arbeiten. • Die Größe der Kugel bzw. wie viel von der Kugel aus dem Gehäuse schaut, spielt eine Rolle: Größere Kugeln wurden eher bevorzugt. • Anordnung, Anzahl und Funktionen der Tasten sind zu beachten. • Die Kompatibilität der Software ist unerlässlich. 	<p>kein wissenschaftlicher Artikel</p>



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
		<ul style="list-style-type: none"> Die Möglichkeit, den Trackball leicht zu reinigen, hilft ein hinderliches Verschmutzen des Trackballs zu vermeiden; teils können Kugeln einfach aus der Fassung genommen werden. <p>Kann der Trackball die Maus ersetzen? Auf jeden Fall ist er eine Alternative, falls Probleme beim Gebrauch der Maus auftreten.</p>	
<p><i>Lorenz, J.:</i> Auf Mäusejagd. Tablettis, Trackballs und andere Spezialitäten. Eingabegeräte. Chip, Das Mikrocomputer-Magazin (1992) Nr. 9, S. 134-148</p>	77	<p>Bei diesem Artikel handelt es sich nicht um eine wissenschaftliche Arbeit, sondern um Probeanwendungen verschiedener Produkte: zwei Trackballs, eine Griffelmaus und zwei Grafiktablettis mit Griffel.</p> <p>Die Eingabegeräte wurden von je einem Mann und einer Frau getestet.</p> <p>Allgemeine Aussagen: Ein Vorteil vom Trackball liegt im geringen Platzbedarf. Geachtet werden muss darauf, dass die Größe der Kugel der Handgröße angepasst ist. Nicht unwichtig ist auch, wie leicht das Gerät gereinigt werden kann; z. B., ob die Kugel einfach herauszunehmen ist.</p> <p>Trackballs und die Griffelmaus können der Maus am ehesten Konkurrenz machen. Tablettis sind im grafischen Bereich unschlagbar.</p>	kein wissenschaftlicher Artikel
<p><i>Morag, I.; Shinar, D.; Saat, K.; Osbar, A.:</i> Trackball modification based on ergonomic evaluation: a case study in the sociology of ergonomics in Israel. Int. J. Ind. Ergon. 35 (2005), S. 537-546</p>	81	<p>Die Studie wurde an Arbeitsplätzen, an denen im Stehen ein Trackball benutzt wurde, durchgeführt. 45 % der Arbeiter/-innen bedienten Trackballs mit einer Ellbogenflexion von mehr als 30° und 70 % mit einer Handgelenk-Extension von mehr als 30°. Daraufhin wurden im Rahmen einer Intervention folgende Maßnahmen durchgeführt:</p> <ul style="list-style-type: none"> Erhöhung der bereits bestehenden negativen Trackballneigung von 9 auf 24° laterales Neigen des Trackballs um 45°, sodass eine „Handschüttel-Position“ erreicht wurde Erhöhung des Arbeitsplatzes und Training der Arbeitstechnik, sodass die Arbeiten mit einer Unterarmhaltung in einer mittleren Position durchgeführt werden konnten <p>62 Testpersonen wurden über 18 Wochen während fünf Schichten zu je 12 Stunden mit Video beobachtet.</p> <p>Relevante Resultate: Durch die negative Neigung des Trackballs in der sagittalen Ebene konnte die Handgelenk-Extension verringert werden (von 34 auf 26°). Diskomfort war in der Testgruppe reduziert, in der Kontrollgruppe erhöht. Es konnte festgestellt werden, dass mit höhergradiger Handgelenk-Extension der Diskomfort umso größer angegeben wurde. Durch die Verringerung des Diskomforts stützten sich die Arbeiter/-innen weniger auf dem Trackball ab.</p> <p>Wie bei der Tastatur konnten auch hier Vorteile einer Minderung der Handgelenk-Extension durch eine negative Neigung des Trackballs erreicht werden.</p>	2



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
<p><i>Tittiranonda, P.; Martin, B.; Burastero, S.:</i> Comparison of muscle activity during use of computer pointing devices in cad operators. In: Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society. 44th Annual Meeting, 29. Juli – 4. August 2000, San Diego, USA, S. 633-636</p>	4	<p>In dieser Studie wurden vier unterschiedliche Computer-Eingabemittel verglichen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • konventionelle Drei-Tasten Maus (die auch sonst von den Testpersonen benutzt wurde) • Trackball (Logitech) • Joystick-Maus (Animax International AS) • Experimental-Maus <p>12 Testpersonen absolvierten an ihrem eigenen Arbeitsplatz drei verschiedene Aufgaben (Dateneingabe, Pointing, Tracking) von fünf Minuten Dauer. Mittels EMG wurden die Muskelaktivitäten vom <i>M. flexor digitorum superficialis</i> (FDS), <i>M. extensor indicis proprius</i> (EIP), <i>M. extensor carpi ulnaris</i> (ECU) und <i>M. trapezius</i> (oberer Anteil, UT) aufgezeichnet und auf tonischen Level, Median und Kraftspitze ausgewertet. Die Unterarme waren entweder auf dem Schreibtisch oder auf der Armlehne unterstützt.</p> <p>Für die konventionelle Maus ließen sich gegenüber den anderen Eingabemitteln tendenziell höhere Aktivitäten aller vier gemessenen Muskeln in allen drei Auswertekriterien (tonisch, Median, Kraftspitze) nachweisen. Signifikant war dieser Unterschied für ECU und UT, was auf eine erhöhte Ulnarduktion und Schulteranhebung hinweist. Bei Nutzung der Joystick-Maus wurden höhere Aktivitäten bei ECU und EIP gemessen. Diese Ergebnisse stehen im Gegensatz zu denen von Aaras. Beim Trackball würde man erwarten, dass der Zeigefinger einer größeren Belastung ausgesetzt ist. Im EMG für EIP konnte dies aber nicht bestätigt werden. In den übrigen Ergebnissen der EMG-Auswertung für den Trackball zeigten sich im Vergleich zu den anderen Eingabemitteln gute Werte: weniger tonische Belastung für ECU als bei der Joystick-Maus und geringere Aktivitäten (Median und Kraftspitze) für UT als bei der konventionellen und Experimental-Maus.</p> <p>In der Zusammenfassung bleibt festzustellen, dass die konventionelle Maus eher schlecht, der Trackball eher gut abgeschnitten hat. Es konnte ein spezifisches Belastungsmuster für jedes Eingabemittel festgestellt werden. Bei der Wahl eines Eingabemittels sollte nicht nur auf dessen Gestaltung, sondern auch auf das individuelle Benutzungsmuster und auf den vorhandenen Platz geachtet werden.</p> <p>Problem: Die Angaben sind teils ungenau, z. B. zum Design der Experimental-Maus.</p>	2
<p><i>Woods, V.; Hastings, S.; Buckle, P.; Haslam, R.:</i> Development of non-keyboard input device checklists through assessments. Appl. Ergon. 34 (2003), S. 511-519</p>	88	<p>Acht verschiedene Computer-Eingabemittel wurden von 27 Fachleuten beurteilt. Zur Auswahl standen zwei Trackballs, eine Joystick-Maus und fünf weitere Mäuse mit unterschiedlichen/er Formen und Anzahl von Tasten. Aufgaben wie Clicking, Dragging, Cutting, Pasting, Highlighting und Scrolling mussten absolviert werden. Die Tests dauerten jeweils drei bis sechs Minuten. Die Eingabemittel wurden mit einem Fragebogen zu Handhabung, Performance, Design und Komfort beurteilt. Zudem konnten subjektive Einschätzungen in Form freier Kommentare abgegeben werden.</p>	1



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
		<p>Insgesamt erhielten Mäuse bessere Beurteilungen als Trackballs oder die Joystick-Maus. Die Standard-Zwei-Tasten-Maus war am beliebtesten. Gut abgeschnitten haben auch zwei recht einfache Drei-Tasten-Mäuse. Kritikpunkte, die zu der schlechteren Bewertung der anderen Eingabemitteln führten, waren für die Hand unpassende Formen und Größen, komplizierte Bedienung, unpräzises Arbeiten, zu großer Kraftaufwand notwendig, Druckstellen und Ermüdung in den Fingern, im Handgelenk, Arm und in der Schulter (z. B. bei der Joystick-Maus), mangelnde Tastenerreichbarkeit und schlechte Greifbarkeit.</p> <p>Probleme: Eventuell wurden bekannte Modelle besser beurteilt, weil die Fachleute unter Umständen an sie gewöhnt waren. Bei längerer Eingewöhnungszeit an die Trackballs und die ungewöhnlicheren Mausdesigns könnten sich auch die Beurteilungen ändern. Nicht alle Eingabemittel wurden von sämtlichen Testpersonen getestet.</p> <p>Zur Unterstützung bei der Auswahl eines Eingabemittels ist eine Checkliste abgedruckt.</p>	
<p>Zöller, H.; Konheisner, S.: Fitts' Gesetz bei Maus und Trackball: ein experimenteller Test zur ergonomischen Bewertung von Computereingabegeräten. Hrsg.: Institut für allgemeine und angewandte Psychologie, Universität Münster 1999</p>	<p>87</p>	<p>Eine Microsoft Serial Mouse und ein LogiTech Trackman (Taste wird mit Daumen gedrückt, Rolle mit einem anderen Finger bewegt) wurden anhand ihrer Effizienz miteinander verglichen. Die Vorstudie zeigte auf, dass die Maus durch Bewegungen des Handgelenks bzw. des Unterarms hin- und her geschoben wird, während beim Trackball eher eine Bewegung mit den Fingern die Kugel ins Rollen versetzt und wieder anhält.</p> <p>In der Hauptstudie wurden von sechs Testpersonen so viele Versuchsblöcke absolviert, bis sich über mehrere Blöcke hinweg bei beiden Eingabemitteln kein weiterer Lernfortschritt im Sinne einer Verringerung der Bewegungszeit mehr einstellte. Schließlich wurde die Performance bei Move-and-click-Aufgaben (nur horizontale Bewegungen) gemessen.</p> <p>Nach Langzeitübung waren die Fehlerraten für Trackball und Maus fast gleich. Die Maus erwies sich im Schnitt 129 ms schneller als der Trackball (bei einer Aufgabendauer von ca. 800 bis 950 ms). Zwischen Schwierigkeit der Aufgabe und dem Eingabegerät konnte keine bedeutsame Interaktion festgestellt werden.</p>	<p>1</p>



Anhang D: Inhalt der Literatur – Griffel mit Tablettnutzung

Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
<p>Comparison of postures from pen and mouse use. Hrsg.: Global Ergonomic Technologies, Guerneville, USA 1998</p>	90	<p>In diesem Artikel werden die Handpositionen bei der Benutzung einer Maus mit denen bei der Benutzung eines Tablett mit Griffel von Wacom verglichen. Die Angaben über die Haltung bei der Mausbenutzung wurden von mehreren Studien zusammengefasst und für den Wacom-Griffel stammen diese von einer Wacom-Studie mit acht Testpersonen. Genauere Angaben zu dieser Studie wurden nicht gemacht.</p> <p>Beim Griffel wurden im Gegensatz zur Maus keine Pronation und keine Extension beobachtet. Allerdings wurden beim Ziehen kurzer Linien mit dem Griffel geringe Handgelenk-Flexionen festgestellt. Die Ulnarabduktion betrug beim Griffel weniger als 4°, mit Ausnahme von zwei Aufgaben sogar weniger als 1,5°. Im Vergleich dazu wurden bei der Maus mehr als 12° Ulnarabduktion gefunden. Die Radialabduktion schien bei der Maus nicht übermäßig groß zu sein. Eine Studie fand eine mittlere Radialabduktion zwischen 2 und 3°. Beim Stift betrug sie weniger als 2,5°, bis auf zwei Aufgaben sogar weniger als 1°. Flache Tasten bei der Maus bewirkten eine Streckung der Finger. Nach hinten abgerundete Formen begünstigten eine Neutralposition. Beim Griffel wurde keine Fingerstreckung beobachtet, vielmehr befanden die sich permanent in gebeugter Haltung – und zwar umso mehr, je dichter die Hand den Griffel bei der Spitze fasste. Bei der Maus wurden Fingerflexionen nur beobachtet, wenn diese für die Hand des Benutzers zu klein war. Finger-Abduktion wurde beim Griffel keine gefunden, bei der Maus fiel sie bei enger zusammen liegenden Tasten geringer aus. Der Griffel wurde die meiste Zeit mit dem ganzen Unterarm geführt. Nur bei kleinen Cursorbewegungen kam eine Handgelenkführung zum Zuge.</p> <p>Insgesamt wurden beim Griffel weniger Abweichungen von der neutralen Hand- bzw. Unterarmhaltung gefunden als bei der Maus.</p>	1
<p><i>Coll, R.; Zia, K.; Coll, J.:</i> A comparison of three computer cursor control devices: pen on horizontal tablet, mouse and keyboard. <i>Information and Management</i> 27 (1994), S. 329-339</p>	94	<p>Inhalt der Studie ist der Vergleich eines Griffels, einer Maus und einer Tastatur zu Performance und Präferenzen der Benutzer/-innen. 63 Testpersonen nahmen an den Tests teil. Alle hatten Erfahrungen mit der Tastatur als Eingabemittel bzw. Zeigegerät, nicht aber mit Maus oder Griffel mit Tablettnutzung. Auf der Tastatur wurden vier Cursor-tasten benutzt, auf dem Tablett sowohl die Maus als auch der Griffel. Die Übertragung Tablett zu Bildschirm betrug 1 : 0,8. Die Auswahlfunktion beim Griffel wurde durch Tippen mit dem Stift auf das Tablett ausgelöst. Es wurde mit einem Grafikprogramm gearbeitet. Drei Aufgaben mussten gelöst werden: Aufgabe 1 – Klicken, Aufgabe 2 – Linien ziehen und Aufgabe 3 – Objekte verbinden. Jede Testperson absolvierte diese drei Aufgaben mit einem Eingabegerät (ein Drittel mit der Tastatur, ein Drittel mit der Maus, ein Drittel mit dem Griffel). Bei der vierten Aufgabe wurde Aufgabe 1 wiederholt,</p>	2



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
		<p>allerdings benutzte hier jede Testperson jedes Eingabegerät. Dabei ging es lediglich um die Präferenz, nicht um die Performance. Der gesamte Test mit allen vier Aufgaben dauerte insgesamt 45 Minuten. Nach acht Tagen wurde dieser Testablauf wiederholt.</p> <p>Aufgabe 1 bis 3: Die Maus war das schnellste Eingabegerät, gefolgt vom Griffel. Mit den Cursorstasten der Tastatur wurde am langsamsten gearbeitet. Dafür wies die Tastatur die wenigsten Fehler auf, der Griffel die meisten. Der Lerneffekt (die Experimente wurden am achten Tag wiederholt) war bei allen drei Eingabemitteln in etwa gleich groß.</p> <p>Aufgabe 4: Für allgemeine Aufgaben wurde die Maus der Tastatur signifikant vorgezogen, den Griffel bevorzugten signifikant weniger Testpersonen als die Maus und die Tastatur. Bei Aufgaben mit hoher Genauigkeit wurde die Tastatur der Maus vorgezogen. Die meisten Testpersonen würden den Griffel bei solchen Aufgaben vermeiden.</p> <p>Fazit: Welches Eingabemittel als bestes gewählt wird, hängt mitunter von der Aufgabenstellung ab!</p>	
<p><i>Kabbash, P., MacKenzie, I. S.; Buxton, W.</i>: Human performance using computer input devices in the preferred and non-preferred hands. Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems – INTERCHI, New York (1993)</p>	72	<p>siehe Anhang B</p>	2
<p><i>Kotani, K.; Horii, K.</i>: An analysis of muscular load and performance in using a pen-tablet system. J. Physiol. Anthropol. Appl. Human Sci. 22 (2003), S. 89-95</p>	92	<p>Verglichen wurden eine Maus (konventionelle Zwei-Tasten-Maus) mit einem Griffel mit Tablettnutzung (WACOM Intuos I-600, Griffel: 115 mm lang, 10 mm dick, Tablett: 343 mm x 258 mm).</p> <p>Die fünf Testpersonen hatten keine Erfahrung mit einem Griffel mit Tablettnutzung. Gemessen wurden die Muskelaktivitäten mittels EMG (<i>M. trapezius pars descendens</i>, <i>M. biceps brachii</i>, <i>M. flexor digitorum superficialis</i>, <i>M. extensor digitorum</i>) und die Performance. Die Testpersonen mussten zwei unterschiedliche Aufgaben (SL und PT) an fünf verschiedenen Tagen jeweils einmal absolvieren: Bei SL mussten fünf Minuten lang jeweils zwei Punkte durch horizontale Linien und „click and drag“ verbunden werden. Bei PT mussten die Konturen eines auf dem Bildschirm sichtbaren Polygons nachgezeichnet werden. Das Handgelenk konnte auf dem Tisch abgestützt werden.</p> <p>Ergebnisse für SL: Signifikante Unterschiede zeigte das EMG des <i>M. flexor digitorum superficialis</i> und des <i>M. extensor digitorum</i> auf. Für beide Muskeln wurden bei Griffelgebrauch mit Tablettnutzung ca. um 5 bis 10 % geringere Aktivitäten im EMG gemessen als bei</p>	2



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
		<p>Mausnutzung. Beim <i>M. biceps brachii</i> konnte dieselbe Tendenz festgestellt werden (Aktivitäts-Reduktion um ca. 2,4 %). Die EMG-Daten für den <i>M. trapezius</i> ergaben keine Unterschiede. Die Performance mit der Maus war am ersten Tag wesentlich besser als mit dem Griffel. Dies änderte sich aber bereits nach dem zweiten Tag dahingehend, dass die Performance beim Griffel oder mit dem mit Tablettnutzung in Fehlerquoten und Zeit sogar besser als mit der Maus ausfiel.</p> <p>Ergebnisse für PT: Für den <i>M. flexor digitorum superficialis</i> und <i>M. extensor digitorum</i> ergaben die EMG-Messdaten signifikant höhere Muskelaktivitäten bei der Mausnutzung. Für <i>M. biceps brachii</i> und <i>M. trapezius</i> konnten keine Unterschiede nachgewiesen werden. Die Fehlerquote bei der Maus war höher als beim Griffel mit Tablettnutzung.</p> <p>Zusammenfassend: Im Vergleich zur Maus reduzierte der Gebrauch des Griffels mit Tablettnutzung den Stress auf die Finger. Auch die Performance war innerhalb zweier Tage auf dem gleichen bzw. sogar höheren Niveau als die bei der Mausnutzung.</p>	
<p><i>MacKenzie, I.; Sellen, A.; Buxton, W.</i>: A comparison of input devices in elemental pointing and dragging tasks. In: Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society. 35th Annual Meeting, 2.-6. September 1991, San Francisco, USA. S. 330-334</p>	86	<p>Eine Maus (Macintosh Maus), ein Trackball (Kensington Trackball, Tastenbetätigung mit dem Daumen, Ball mit anderen Fingern) und ein Griffel mit Tablettnutzung (Wacom Tablett und Griffel) wurden von 12 Testpersonen in der Benutzung erprobt und anhand der Performance verglichen. Bei den Tests mussten standardisierte Pointing-and-clicking- und Dragging-Aufgaben absolviert werden.</p> <p>Mit dem Trackball wurde in beiden Aufgaben aufgrund langsamerer Ausführung eine schlechte Performance erzielt, mit Maus und Griffel erwies sie sich beim Pointing als praktisch gleich, beim Dragging war die Bedienung mit dem Griffel schneller. Im Hinblick auf die Fehlerquoten waren beim Pointing die Unterschiede zwischen den drei Eingabemitteln unwesentlich, beim Dragging schnitt der Trackball am schlechtesten, die Maus am besten ab.</p> <p>Zusammenfassend: Für den Trackball fiel die Bewertung in den Performance-Tests am schlechtesten aus. Der Griffel schien in der Performance eine gute Alternative zur Maus zu sein.</p>	1
<p><i>Wu, F.; Luo, S.</i>: Performance study on touch-pens size in three screen tasks. Appl. Ergon. 37 (2006), S. 149-158</p>	91	<p>Von 16 Testpersonen wurden 12 Griffel von unterschiedlicher Länge (80, 110, 140 mm) und unterschiedlichem Durchmesser (5,5, 8, 11, 15 mm) getestet. Dabei wurde auf einem Berührungsbildschirm (115 cm lang, 70 cm breit, 74 cm hoch), der wie ein Stück Papier auf dem Tisch lag, gearbeitet. Die Aufgaben waren Pointing-and-clicking sowie Schreiben von Buchstaben und Figuren (ein Quadrat, ein X und einen Kreis) nachfahren. Nach zehn bis 15 Minuten Üben wurden die drei Tests der Reihe nach mit den 12 unterschiedlichen Griffeln durchgeführt. Zwischen zwei Griffeln wurden Pausen</p>	2



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
		<p>ingelegt. Untersucht wurden die Performance (Zeit/Fehlerquoten) und die Präferenz.</p> <p>Pointing-and-clicking: Mit dem längsten und dünnsten Griffel wurden die kürzesten Zeiten und die wenigsten Fehler erreicht. Zudem war dieser Griffel bei den Testpersonen am beliebtesten.</p> <p>Schreiben: Lange Griffel mit mittlerem Durchmesser führten zu einer besseren Performance als kurze Griffel mit dickem oder dünnem Durchmesser. Die Präferenz deckte sich mit der guten Performance.</p> <p>Figuren nachfahren: Die Performance bei Gebrauch von langen und dicken Griffeln war am besten. Diese Griffel schnitten auch bei der subjektiven Beurteilung am besten ab.</p> <p>Das Geschlecht der Testpersonen hatte keinen Einfluss auf die Performance oder Präferenz für einen der verschiedenen Griffel.</p> <p>Der 80 mm Griffel hatte die schlechteste Performance bei allen drei Aufgaben. Aus dem Vergleich der Griffellänge mit der Handbreite der Testpersonen konnte geschlossen werden, dass ein Griffel größer als die Handbreite des/der Benutzers/Benutzerin sein sollte.</p> <p>Zusammenfassend: Die langen Griffel erhielten bessere Performance- und Präferenzbewertungen. Ein Griffel sollte nicht kürzer als die Breite der Hand sein. Empfohlen wurde an der Stelle eine Länge von 100 mm. Für Pointing-and-clicking schnitten die dünneren Griffel, beim Figuren-Nachziehen die dickeren und beim Schreiben die mittleren Griffel am besten ab. Je nach Schwerpunkt der Arbeit sollte die Dicke des Stiftes entsprechend gewählt werden. Bei einem Griffel für mehrere unterschiedliche Aufgaben wurde eine Dicke von 8 mm empfohlen.</p>	
<p>Wu, F.; Luo, S.: Design and evaluation approach for increasing stability and performance of touch pens in screen handwriting tasks. Appl. Ergon. 37 (2006), S. 319-327</p>	93	<p>In dieser Studie wurde die Handhaltung bei Benutzung eines Griffels untersucht und zwischen einem konventionellen und einem neuen Griffeldesign verglichen. Dabei wurde mit dem Griffel direkt auf den horizontal auf dem Tisch liegenden Bildschirm geschrieben.</p> <p>Bei 30 Testpersonen, die es gewohnt waren, mit einem Griffel zu arbeiten, wurden die Bewegung der oberen Extremitäten und die Handhaltung mit Videoaufnahmen beobachtet. Drei Aufgaben mussten absolviert werden: Pointing-and-clicking, Schreiben und Nachfahren von Figuren. Es wurde ein 140 mm langer und 9 mm dicker Griffel und ein neuer Griffel mit Halterung für die Hand benutzt. Der Bildschirm befand sich 10 cm von der Tischkante entfernt. Beim Testen des neuen Griffels wurden außerdem die Performance und das subjektive Empfinden gemessen bzw. erfragt.</p>	2



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
		<p>Pointing-and-clicking: Alle Testpersonen legten den Unterarm nicht ab, Ellbogen oder Hand wurden nicht unterstützt. Der Griffel wurde sehr locker und eher weit oben gehalten, sodass er ab und zu fallen gelassen wurde oder durch die un stabile Haltung Fehler gemacht wurden.</p> <p>Schreiben: Knapp 50 % der Testpersonen legten den Unterarm nicht ab, der Rest benutzte den Tisch oder den Bildschirm als Auflage. Diese stützten sich entweder mit dem Handgelenk und der Seite der Hand, mit dem Ellbogen oder – der größte Teil (36,7 %) – mit dem kleinen Finger ab. Oft wurde der Griffel sehr fest gehalten.</p> <p>Figuren nachfahren: 63 % der Testpersonen benutzten keine Unterstützung, 30 % stützten die Hand auf dem kleinen Finger ab. Manche hielten den Griffel mit drei, manche mit vier oder sogar allen fünf Fingern.</p> <p>Im Vergleich zu diesen Beobachtungen wurde aus anderen Studien zitiert, dass Personen beim Schreiben auf Papier normalerweise den ganzen Unterarm auf dem Tisch abstützen.</p> <p>Bei den verschiedenen Griffelhaltungen wurden exzessive Handgelenkhaltungen beobachtet: bei abgestütztem Handgelenk auf dem Bildschirm besonders Handgelenk-Extensionen, bei abgestütztem Ellbogen auf dem Tisch Handgelenk-Flexionen und beim Abstützen auf dem kleinen Finger dessen Extension. Auf Nachfrage gaben die Testpersonen an, dass sie nicht den ganzen Unterarm abstützten, weil sie den Bildschirm nicht zerkratzen wollten.</p> <p>Neuer Griffel mit Halterung für die Hand: Beim Schreiben und Pointing-and-clicking wurde die Fehlerquote signifikant gesenkt, beim Nachzeichnen zusätzlich auch die benötigte Zeit. Die subjektive Zufriedenheit entsprach den guten objektiven Resultaten. Außerdem konnte beobachtet werden, dass die Handhaltungen derjenigen der Neutralhaltung entsprachen und die Stabilität – ohne zusätzliches Abstützen mit z. B. dem kleinen Finger oder dem Ellbogen – erhöht wurde.</p> <p>Verschiedene Designs dieses neuen Griffels mit Halterung sind beschrieben in: <i>Wu, F. G.; Luo, S.: Performance of the five-point grip pen in three screen-based tasks. Appl. Ergon. 37 (2006), S. 629-639.</i></p>	



Anhang E: Inhalt der Literatur – Hand-/Armauflage

Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
<p>Aaras, A.; Fostervold, K.; Ro, O.; Thoresen, M.; Larsen, S.: Postural load during VDU work: a comparison between various work postures. Ergonomics 40 (1997), S. 1255-1268</p>	95	<p>In dieser Studie wurde der Einfluss von Unterarmauflagen auf die Haltung und Muskelanspannung des Schulter-Arm-Systems untersucht. Verglichen wurden sitzende und stehende Arbeitspositionen mit und ohne Armauflage bei Tastatur- und Mausbenutzung. Zusätzlich wurde der Einfluss der Sichtlinie (15° bzw. 30° unterhalb der Horizontalen) betrachtet. 20 Testpersonen absolvierten Tests, die je 15 Minuten dauerten. Im Bereich des <i>M. trapezius pars descendens</i> und am <i>M. erector spinae lumbalis</i> auf Höhe L3 wurden EMG-Messungen durchgeführt. An Oberarm, Kopf und Rücken wurden zudem Inklinometer angebracht.</p> <p>EMG-Messungen: Sowohl bei der Maus- als auch bei der Tastaturbenutzung war die statische Anspannung im <i>M. trapezius</i> mit Unterarmauflage signifikant geringer als ohne, ebenso verhielt es sich für das Sitzen und Stehen (Sitzen mit Unterarmauflage 0,8 % MVC, Sitzen bzw. Stehen ohne Unterarmauflage 3,6 bzw. 2,3 % MVC.). Die Anzahl der Perioden und die Gesamtdauer, in der der ermittelte Kraftaufwand unterhalb von 1 % MVC lag, vergrößerte sich signifikant mit Unterarmauflage, z. B. für den rechten <i>M. trapezius</i> 35/Minute bzw. 44 % der Zeit im Gegensatz zu 21/Minute und 10 % der Zeit ohne Auflage im Sitzen. Auch beim <i>M. erector spinae</i> sprachen die Resultate für eine Belastungsreduktion durch die Unterarmauflage. Bei der Mausbenutzung verringerte sich die Belastung im rechten <i>M. trapezius</i> mit Unterarmauflage (0,1 % MVC vs. 1,2 % MVC). Mit Unterstützung war zu 79 % der Zeit die statische Anspannung unter 1 % MVC, ohne Unterstützung lediglich 31 % der Zeit.</p> <p>Oberarmwinkel: Mit Unterarmauflage befand sich der Oberarm öfter im Winkelbereich von -5° (Extension) und +5° (Flexion) als ohne, gleichwohl im Sitzen als auch im Stehen. Die Flexion des Rückens war mit Auflage signifikant größer als ohne (9° im Sitzen mit Auflage, 1° im Sitzen ohne Auflage, -3° im Stehen ohne Auflage).</p> <p>Der Winkel der Sichtlinie hatte keine signifikante Wirkung auf die Haltung und Anspannung der untersuchten Muskeln.</p> <p>Zusammenfassend: Eine Unterarmauflage bringt Vorteile bezüglich der Belastung des <i>M. trapezius</i> und des <i>M. erector spinae</i> unabhängig davon, ob man eine Maus oder eine Tastatur als Eingabemittel benutzt.</p>	3



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
<p><i>Bendix, T.; Jessen, F.:</i> Wrist support during typing – a controlled, electromyographic study. <i>Appl. Ergon.</i> 17 (1986), S. 162-168</p>	<p>108</p>	<p>Untersucht wurden 12 Sekretärinnen mit Beschwerden im Nacken-/Schulterbereich und/oder radialen Ellbogenbereich beim Schreibmaschinen-Schreiben und der Einfluss von Handgelenkauflagen auf Muskelbelastungen, Performance und Akzeptanz. Die Handgelenkauflage war von der Größe 11 x 65 cm und wurde mit Belastungssensoren ausgestattet. Sie wurden zwischen der Testperson und dem Tisch mit einem Abstand zur Leertaste von 7 cm angebracht. Es wurden vier Situationen getestet, an die sich die Testpersonen jeweils ein bis zwei Wochen lang gewöhnen konnten: A ohne Auflage, B Auflage 1 cm unterhalb der Leertaste (unterste Reihe), C Auflage 0,5 cm über der Leertaste, D Auflage wie in C, aber die Schreibmaschine samt Auflage wurde 3 cm erhöht. In den Bedingungen A bis C lag die unterste Reihe der Schreibmaschine auf Höhe der Ellbogen. Unter jeder Bedingung musste eine Aufgabe von 15 Minuten absolviert werden. EMG wurde vom absteigenden Anteil des <i>M. trapezius</i> und vom proximalen Teil des radialen Handgelenkstreckers registriert.</p> <p>Ergebnisse: Die Aktivitäten im <i>M. trapezius</i> waren ohne Auflage am niedrigsten, wurden erhöht mit Auflage, je höher diese platziert wurde, und die höchsten Werte wurden unter Bedingung D gemessen. Die Aktivitäten des radialen Handgelenkstreckers schienen mit Benutzung der Auflage leicht abzunehmen. Wenn die Auflage erhöht war (Bedingung C), wurde sie öfter benutzt (72 % Kontaktzeit zu 55 % bei B). Die Arbeit unter Bedingung D wurde am wenigsten akzeptiert. Acht Testpersonen mochten die Handgelenkauflagen, zwei nicht. Die Performance zeigte keine signifikanten Unterschiede.</p> <p>Zusammenfassend: Laut dieser Studie muss eine Handgelenkauflage gerade bei Personen mit Beschwerden mit Vorsicht benutzt werden. Wenn, dann sollte es, laut Autor, eine größere Auflage sein (20 cm), damit der Ellbogen auch abgestützt werden kann. Wahrscheinlich seien Handgelenk-/Unterarmauflagen nützlich bei Tätigkeiten mit mehr Stabilität (kleine Arbeitsbewegungen). Die Tasten sollten außerdem möglichst tief relativ zum Ellbogen liegen.</p> <p>Problem: Die Studie ist alt und es wurde noch mit Schreibmaschinen gearbeitet, wodurch insbesondere die Auflagenhöhe eine Übertragung der Ergebnisse auf Arbeitsbedingungen mit Computertastaturen erschwert wird.</p>	<p>2</p>
<p><i>Cook, C.; Burgess-Limerick, R.:</i> The effect of forearm support on musculoskeletal discomfort during call centre work. <i>Appl. Ergon.</i> 35 (2004), S. 337-342</p>	<p>96</p>	<p>Das in einem Callcenter rekrutierte Kollektiv aus 59 Testpersonen wurde in zwei Gruppen eingeteilt, von denen die Testpersonen der Gruppe 1 bereits ab der ersten Woche, die der Gruppe 2 erst ab der sechsten Woche Unterarmauflagen erhielten. Die Untersuchung dauerte 12 Wochen. Die Tastatur wurde so verschoben, dass der Unterarm auf dem Arbeitstisch abgestützt werden konnte (nur Unterarm ohne Ellbogen). Vor der Studie, nach der sechsten und zwölften Woche wurden Fragebogen zum Diskomfort</p>	<p>2</p>



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
		<p>ausgefüllt. Außerdem wurde mittels eines Goniometers die Schulterflexion gemessen.</p> <p>1. Woche: Bis auf eine Person gaben alle Testpersonen an, in irgendeiner Form in den letzten 12 Monaten Beschwerden im Muskel-Skelett-System gehabt zu haben; ein Drittel war deswegen in Behandlung.</p> <p>6. Woche: Zu Beginn der Studie gaben 79 % der Gruppe 1 an, in den letzten sieben Tagen Beschwerden gehabt zu haben. Nach den ersten sechs Wochen Intervention waren es noch 62 %. In der Gruppe 2 war nach den ersten sechs Wochen ein leichter Anstieg der Beschwerden um 4 % festzustellen.</p> <p>12. Woche: Für beide Gruppen wurde eine Verminderung des allgemeinen Diskomforts von 75 auf 45 % festgestellt. Der Anteil der Testpersonen, die über Beschwerden in Nacken, Handgelenke und Unterarme klagten, verringerte sich signifikant. Ein Rückgang wurde auch für Schulter- und Rückenbeschwerden festgestellt, allerdings war dieser nicht signifikant. Es gab keine signifikanten Unterschiede zwischen Gruppe 1 und 2.</p> <p>Wurde die Maus benutzt, verringerten sich mit Unterarmauflage die Beschwerden im Handgelenk von 20 auf 6 %, im Unterarm von 17 auf 6 %.</p> <p>Subjektive Angaben: Zwei Testpersonen benutzten die Unterarmauflagen kaum, 32 % der Testpersonen teilweise und 64% die ganze Zeit. Zwei fanden die Position mit der Auflage weniger komfortabel, 18 % beurteilten sie unverändert, 72 % als bequemer.</p> <p>Position: Die mittlere Schulterflexion mit Unterarmauflage betrug 21°.</p> <p>Zusammenfassend: Eine Unterarmauflage kann innerhalb von sechs Wochen Beschwerden und Diskomfort verringern und ist daher zu empfehlen.</p>	
<p>Cook, C.; Burgess-Limerick, R.; Papalia, S.: The effect of upper extremity support on upper extremity posture and muscle activity during keyboard use. Appl. Ergon. 35 (2004), S. 285-292</p>	97	<p>Untersucht wurden 13 Testpersonen, die unter drei Bedingungen 20 Minuten lang tippeten – nämlich mit Unterarm- und Handgelenkauflage, mit Handgelenkauflage und ohne eine Auflage (Kontrollgruppe). Die Handgelenkauflage (Höhe 17 mm, Breite 65 mm, Länge 67 mm) wurde vor die gleich hohe Tastatur gelegt. Um die Auflagefläche für den Unterarm zu erhalten, wurde die Tastatur mitsamt der Handgelenkauflage so weit in Richtung Bildschirm geschoben, dass der Unterarm auf dem Schreibtisch ruhen konnte. Bei den Bedingungen ohne Auflage und nur mit Handgelenkauflage war die Tastatur 100 mm von der Tischkante entfernt positioniert. Die Höhe des Arbeitsplatzes wurde so eingestellt, dass der Ellbogen sich in etwa in 90° Flexion befand. Gemessen wurden die Haltungen der Handgelenke (Extension/Flexion und Ulnar-/Radialduktion), der Schultern und Ellbogen (Extension bzw. Flexion), die Muskelaktivitäten (<i>M. extensor</i></p>	2



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
		<p><i>digitorum communis</i>, <i>M. extensor carpi ulnaris</i>, <i>M. trapezius</i> (oberer Anteil), <i>M. deltoideus</i> (vorderer Anteil)) und der Diskomfort.</p> <p>Haltungsmessungen: Die Unterarmauflage erhöhte signifikant die Schulter-Flexion und die Ellbogen-Extension. Dies wurde durch die in Richtung Bildschirm geschobene Position der Tastatur hervorgerufen. Bei Nutzung einer Handgelenkauflage erhöhte sich die Handgelenk-Extension um 6 bis 8°. Mit einer Unterarmauflage war die linke Handgelenk-Extension hingegen signifikant geringer als ohne Auflage; die Ulnarduktion verringerte sich unter dieser Bedingung – jedoch nicht signifikant – um 3°. Der Zeitanteil, in der sich das Handgelenk in einer extremen Ulnarduktion (< 15°) befand, konnte allerdings signifikant um 20 % reduziert werden.</p> <p>EMG-Messungen: Eine Handgelenkauflage führte zu signifikant geringeren Muskelaktivitäten im <i>M. trapezius</i> und <i>M. deltoideus anterior</i>. Zwischen der Gruppe mit Unterarmauflagen und der Kontrollgruppe gab es keine signifikanten Unterschiede.</p> <p>Diskomfort: Alle Testpersonen gaben während der Tests Diskomfort in einer oder mehreren Körperregionen an. Unter den Bedingungen ohne Auflage waren diese Angaben signifikant höher. Durch Unterarmauflage konnte das Komfortempfinden gesteigert werden.</p> <p>Zusammenfassend: Die Unterarmauflage reduzierte die Ulnarduktion, die Handgelenkauflage reduzierte die im EMG gemessene Aktivität der proximalen Muskulatur. Der empfundene Diskomfort war am höchsten ohne Auflage.</p>	
<p><i>Delisle, A.; Larivière, C.; Plamondon, A.; Jetté, C.; Marchand, D.; Stock, S.</i>: The effect of forearm support during computer work: a field study. In: <i>Pikaar, R. N.; Koningsveld, E. A.; Settels, P. J.</i> (Hrsg.): Proceedings of the 16th World Congress of the International Ergonomics Association (IEA) 10.-14. Juli 2006, Maastricht, Niederlande. Elsevier, Amsterdam 2006</p>	98	<p>Arbeiten mit auf der Arbeitsfläche unterstützten Armen (beim Tippen und Mausgebrauch) kann eine Änderung der Arbeitstechnik und daher eine Zeit der Eingewöhnung erfordern. Eine kurze Laborstudie kann daher einen vermuteten Effekt der Unterarmauflage eventuell nicht nachweisen. Daher wurde diese Interventionsstudie über einen Zeitraum von 30 Wochen durchgeführt. 25 Testpersonen wurden in zwei Gruppen eingeteilt. Bei Gruppe A wurden die Tastatur und die Maus von der Tischkante weg geschoben, damit die Unterarme auf der Tischplatte abgestützt werden konnten (Intervention A). Bei Gruppe B standen die Armlehnen des Stuhls für eine Unterarmauflage zur Verfügung (Intervention B). Beide Gruppen bekamen zusätzlich Informationen zur richtigen Einrichtung des Arbeitsplatzes. Die Messungen wurden drei Wochen vor, drei und 30 Wochen nach der Intervention durchgeführt. Dies waren im Einzelnen EMG-Ableitungen des <i>M. trapezius</i>, <i>M. deltoideus anterior</i> und <i>M. extensor digitorum</i>, Haltungsmessungen (Inklinometer) des Kopfs, oberen Rumpfs und des Arms, der die Maus betätigte, sowie des gleichseitigen Handgelenks (Goniometer). Zusätzlich wurden</p>	3



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
		<p>Fragebögen eingesetzt. Während der Messungen mussten standardisierte Computeraufgaben bzw. alltägliche Arbeiten über 15 Minuten bzw. 45 Minuten ausgeübt werden.</p> <p>Bei Intervention A wurden größere Oberarmflexionen registriert. Beide Interventionen führten zu einer Zunahme der im EMG nachweisbaren Pausen im vorderen <i>M. deltoideus</i> und zu einer Reduktion der Schmerzsymptome in Nacken, Schulter und oberen Rücken.</p> <p>Zusammenfassend: Beide Arten von Unterarmauflagen hatten in etwa den gleichen positiven Effekt auf die Belastungsreduktion. Einziger Unterschied war die höhere Oberarmflexion bei der Auflage auf der Tischplatte.</p>	
<p><i>Erdelyi, A.; Sihvonen, T.; Helin, P.; Hanninen, O.:</i> Shoulder strain in keyboard workers and its alleviation by arm supports. <i>Int. Arch. Occup. Environm. Health</i> 60 (1988), S. 119-124</p>	99	<p>Die Studie wurde mit 20 Testpersonen durchgeführt, von denen 12 unter Schmerzen in der Schulter und im Nacken litten. Sie mussten einen Text unter unterschiedlichen Bedingungen schreiben: ohne oder mit zwei verschiedenen Armauflagen (fixierte und hängende) und in unterschiedlichen Ellbogen-Flexionsgraden (70°, 90°- und 105°-Winkel). Gemessen wurden die Muskelaktivitäten des oberen rechten <i>M. trapezius</i>, außerdem gaben die Testpersonen eine subjektive Beurteilung ab.</p> <p>Die EMG-Werte verringerten sich mit Zunahme des Ellbogenwinkels. Bei den Testpersonen mit Beschwerden verringerten sich die Muskelaktivitäten des <i>M. trapezius</i> mit beiden Auflagen. Bei den gesunden Testpersonen war dieser Effekt nicht konstant nachweisbar.</p> <p>Obwohl zumindest bei den Testpersonen mit Beschwerden die Auflagen Verminderungen der Muskelaktivitäten bewirkten, wurde dennoch angegeben, dass das Tippen unter diesen Bedingungen unbequem sei, Schreiben ohne Auflagen bekamen bessere subjektive Bewertungen.</p> <p>Zusammenfassend: In dem Ellbogen-Flexionsbereich, in dem hier gemessen wurde, führten größere Winkel zu einer geringeren Aktivität des <i>M. trapezius</i> im EMG. Für Personen mit Beschwerden wurde eine Unterarmauflage empfohlen.</p>	2
<p><i>Feng, Y.; Grooten, W.; Wretenberg, P.; Arborelius, U.:</i> Effects of arm support on shoulder and arm muscle activity during sedentary work. <i>Ergonomics</i> 40 (1997), S. 834-848</p>	100	<p>Bei 12 Testpersonen wurden verschiedene Unterarmauflagen bei unterschiedlichen sitzenden Tätigkeiten getestet. Die Testpersonen mussten dabei 20 Sekunden lang eine Tastenkombination von fünf Tasten drücken. Mittels EMG wurden die Muskelaktivitäten von <i>M. deltoideus pars anterior</i> und <i>pars lateralis</i>, <i>M. trapezius pars descendens</i> (oberer Anteil) und <i>M. extensor carpi radialis brevis</i> gemessen. Es wurden drei verschiedene Auflagen getestet: FIX: eine fixierte, 280 x 130 mm große Platte, um den Unterarm/Ellbogen zu unterstützen, an die Tischkante montierbar; SLA: eine 200 mm lange „Wippe“, die zu allen Seiten beweglich war, mit einer Federkraft von 10 N zur</p>	2



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
		<p>Unterstützung von Ellbogen und Unterarm; HOR: eine horizontal bewegliche, schalenförmige Unterstützung für Ellbogen und Unterarm, montierbar an der Tischkante. Zusätzlich wurden Messungen ohne Armauflagen durchgeführt.</p> <p>Eine signifikante Reduktion der Muskelaktivitäten im <i>M. deltoideus anterior</i> war beim Tippen mit einer Unterarmauflage im Vergleich zur Arbeit ohne Auflage ersichtlich. Ebenfalls war in der Muskelgruppe eine Aktivitätsverminderung zwischen FIX und den anderen beiden Auflagen erkennbar. Für den <i>M. extensor carpi radialis</i> konnten keine signifikanten Unterschiede ohne oder mit Armauflage gemessen werden. Der obere Anteil des <i>M. trapezius</i> wies mit Armauflage eine leichte Aktivitätserhöhung auf.</p> <p>Problem: Die Tests waren sehr kurz, daher büßt die Studie an Aussagekraft ein.</p>	
<p><i>Fernström, E.; Ericson, M.: Computer mouse or trackpoint – effects on muscular load and operator experience. Appl. Ergon. 28 (1997), S. 347-354</i></p>	<p>101</p>	<p>Mit 20 Testpersonen wurden fünf verschiedene Situationen untersucht:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Benutzung einer Tastatur • Benutzung einer Tastatur mit einer Microsoft Serienmaus 2.0 • Benutzung einer Tastatur mit einer Microsoft Serienmaus und einer in drei Ebenen beweglichen Armauflage (am Stuhl befestigt) • Benutzung einer Tastatur mit einem Trackpoint (kleiner Joystick) in der Mitte • Schreiben mit einem handelsüblichen Stift <p>Die je 15-minütigen Aufgaben bestanden darin, Text zu schreiben und zu korrigieren, mit dem Stift musste ein Text abgeschrieben werden. Gemessen wurden die Muskelaktivitäten mittels EMG (<i>M. trapezius pars descendens</i> links und rechts, <i>M. deltoideus</i> rechts, <i>M. flexor digitorum superficialis</i> rechts, <i>M. extensor digitorum</i> rechts, <i>M. extensor carpi ulnaris</i> rechts). Haltungen und Bewegungen wurden anhand von Videobildern ermittelt. Außerdem mussten die Testpersonen einen Fragebogen ausfüllen.</p> <p>Trackpoint vs. Maus ohne Auflage: Die Benutzung des Trackpoints verminderte zwar die Schulterbelastung, erhöhte aber entgegen der Erwartung die des Unterarms in Form höherer Muskelaktivität im EMG. Die eigentlich vermutete neutralere Handhaltung bei der Handhabung des Trackpoints gegenüber der Maus ließ sich in den Videoaufnahmen ebenfalls widerlegen und damit konnten die Ergebnisse erklärt werden. Tatsächlich befand sich die Hand der Testpersonen immer sehr dicht am Trackpoint und somit war eine Ulnarduktion erforderlich, um die rechten Tasten zu betätigen.</p> <p>Tastatur alleine vs. Trackpoint: Bei der alleinigen Nutzung der Tastatur ergab sich eine höhere Beanspruchung der rechten Schultermuskulatur gegenüber der Benutzung des Trackpoints.</p>	<p>3</p>



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
		<p>Tastatur alleine vs. Mausgebrauch: Bei diesem Vergleich sprachen die EMG-Messwerte für höhere Beanspruchung der Unterarmmuskulatur während der Arbeit mit der Tastatur.</p> <p>Maus mit Unterarmauflage vs. ohne Auflage: Die Unterarmauflage verminderte die Schultermuskulaturbelastung, erhöhte aber die des Unterarms. Die Bewegungen wurden also nicht unter Ausnutzung der beweglichen Unterstützung mit dem Arm, sondern aus dem Handgelenk ausgeführt. Der positive Effekt für den rechten Trapezmuskels war gering, vermutlich, weil die meisten Testpersonen beim Arbeiten ohne Auflage automatisch ihren Unterarm auf der Tischplatte abgestützt hatten. Die Testpersonen empfanden trotz Unterarmauflage keine Erleichterung im Schulterbereich.</p> <p>Tastatur ohne Armauflage und Trackpoint: Hierbei waren die Finger-Flexoren mehr beansprucht als bei der Maus. Die Testpersonen gaben auch größere Anstrengung in diesen Situationen an.</p> <p>Schreiben mit der Hand: Die Muskelaktivität im Unterarm sowohl der Extensoren als auch der Flexoren war erhöht.</p> <p>Zusammenfassend: Eine Möglichkeit, die Belastung der Schultermuskulatur zu reduzieren, ist laut dieser Studie die Benutzung eines in der Tastatur integrierten Trackpoints oder ein Mausgebrauch mit Unterarmauflage. Allerdings erhöhten sich bei diesen beiden Arbeitsmethoden im Gegenzug die Muskelaktivitäten in der Hand und im Unterarm.</p>	
<p>Hasegawa, T.; Kumashiro, M.: Effects of armrests on workload with ten-key operation. Appl. Hum. Sci. 17 (1998), S. 123-129</p>	<p>102</p>	<p>Mit acht Testpersonen wurde ein Stuhl mit höhenverstellbaren Armlehnen, die als Unterarmauflagen während der Arbeit mit einer Tastatur benutzt wurden, untersucht. Die Armlehnen waren dabei 8 cm breit und 31 cm lang. Zwei Tastaturpositionen wurden getestet: Die Tastatur lag direkt an der Tischkante oder befand sich 8 cm entfernt von der Tischkante, sodass die Testpersonen ihr Handgelenk auf dem Tisch abstützen konnten. Diese beiden Tastaturpositionen wurden in den Untersuchungsreihen jeweils mit verschiedenen Einstellungen der Armlehnen kombiniert: vertikaler Abstand der Armlehnen zur Sitzfläche 22 cm, 24 cm, 26 cm und gar keine Armlehnen. Eine Aufgabe dauerte jeweils 60 Sekunden. Mit der rechten Hand mussten fünfstellige Zahlen auf dem numerischen Block rechts auf der Tastatur eingegeben werden. Gemessen wurden die Performance und die elektrische Aktivität der Muskeln im EMG: <i>M. trapezius</i> oberer und mittlerer Anteil (rechts und links), <i>M. deltoideus</i> (beide Seiten), <i>M. biceps brachii</i> (rechts) und <i>M. flexor carpi radialis</i> (rechts). Zusätzlich erfolgte ein Interview zum empfundenen Komfort. Kraftmesssensoren sollten Aufschluss über die Last auf den Armlehnen während des Tippens geben.</p>	<p>2</p>



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
		<p>Performance: In der Situation mit Armlehnen (24 cm Abstand zur Sitzfläche) und 8 cm von der Tischkante entfernter Tastatur wurden signifikant mehr Zahlen eingegeben als in den Untersuchungsreihen ohne Armlehne, als auch mit Armlehne (22 oder 26 cm Abstand zur Sitzfläche) jeweils mit der Tastatur an der Tischkante.</p> <p>EMG: Signifikante Unterschiede in den Muskelaktivitäten wurden lediglich auf der rechten Körperseite gefunden. Ohne Armlehne und mit einer Tastaturposition an der Tischkante wurden die höchsten Muskelaktivitäten gemessen.</p> <p>Kraft auf der Armlehne: Lag die Tastatur an der Tischkante, wurden höhere Kraftwerte auf der Armlehne gemessen, als wenn sie 8 cm weg geschoben wurde.</p> <p>Subjektive Empfindung: Nach der Aufgabenausführung ohne Armlehnen und mit Tastaturpositionen an der Tischkante klagten über die Hälfte der Testpersonen über Müdigkeit in der rechten Schulter und im rechten oberen Arm. Ohne Armlehne und mit einer Tastaturposition 8 cm von der Tischkante entfernt waren es noch ca. 50 %. Alle bevorzugten das Arbeiten mit Armlehnen. Die kleinste Testperson bevorzugte die Tastaturposition bei 0 cm, alle anderen bei 8 cm.</p> <p>Zusammenfassend: Die Belastung des <i>M. trapezius</i> (oberer und mittlerer Anteil), des <i>M. deltoideus</i> und des <i>M. biceps brachii</i> auf der rechten Seite konnte verringert werden, wenn das Handgelenk auf dem Tisch abgestützt werden konnte, indem die Tastatur etwas von der Tischkante weg geschoben wurde. Zudem konnten durch die Benutzung von Armlehnen als Unterarmauflage die Muskelbelastungen gesenkt werden. Die günstigste Höhe der Armlehne, um die Muskelaktivitäten zu verringern, war individuell, eine klare Korrelation mit der Körpergröße konnte nicht aufgezeigt werden. Armlehnen als Armauflage sind besonders zu empfehlen, wenn der Schreibtisch nicht höhenverstellbar ist und die Benutzer/-innen die Handgelenke nicht auf dem Tisch ablegen können.</p> <p>Problem: Die Untersuchung fand nur mit einer kleinen Probandenzahl statt. Zudem wurde lediglich der numerische Block mit der rechten Hand benutzt.</p>	
<p>Hedge, A.; Powers, J.: Wrist postures while keyboarding: effects of a negative slope keyboard system and full motion forearm supports. <i>Ergonomics</i> 38 (1995), S. 508-517</p>	<p>32</p>	<p>siehe Anhang A</p>	<p>2</p>



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
<p><i>Karlqvist, L.; Bernmark, E.; Ekenvall, L.; Hagberg, M.; Isaksson, A.; Rosto, T.:</i> Computer mouse position as a determinant of posture, muscular load and perceived exertion. <i>Scand. J. Work Environm. Health</i> 24 (1998), S. 62-73</p>	68	siehe Anhang B	2
<p><i>Karlqvist, L.; Bernmark, E.; Ekenvall, L.; Hagberg, M.; Isaksson, A.; Rosto, T.:</i> Computer mouse and trackball operation: Similarities and differences in posture, muscular load and perceived exertion. <i>Int. J. Ind. Ergon.</i> 23 (1999) S. 157-169</p>	80	siehe Anhang C	3
<p><i>Kotani, K.; Barrero, L.; Lee, D.; Dennerlein, J.:</i> Effect of horizontal position of the computer keyboard on upper extremity posture. Hrsg.: Department of Systems Management Engineering, Osaka, Japan and Department of Environmental Health, Boston, USA</p>	--	<p>In dieser Studie wurde mit 20 Testpersonen der Einfluss der Tastaturposition auf dem Tisch, nämlich die Entfernung der Tastatur von der Tischkante, untersucht. Es wurden vier Bedingungen über zwei Minuten, in denen getippt und gelesen werden musste und Formulare ausgefüllt werden mussten, untersucht:</p> <ul style="list-style-type: none"> • NEAR: die Tastatur lag an der Tischkante • MID: die Tastatur befand sich 8 cm von der Tischkante entfernt • FAR: die Tastatur befand sich 15 cm von der Tischkante entfernt • FWP: wie bei FAR, allerdings mit einer Handgelenkauflage, Größe: 130 mm x 520 mm und Dicke: 12,7 mm <p>Mittels Elektrogoniometer wurden die Handgelenkhaltungen (Extension/Flexion und Ulnar-/Radialduktion) und mittels elektromagnetischer Bewegungsanalyse die Supination/Pronation des Unterarms und der Ellbogenwinkel sowie die Flexion und Abduktion des Oberarms gemessen.</p> <p>Die Ulnarduktion wurde reduziert, je weiter die Tastatur von der Tischkante weg lag. Die Winkel der Handgelenksexension wurden dafür größer. Bei FWP reduzierte sich durch die Handgelenkauflage die Extension im Handgelenk allerdings wieder auf den Wert, der bei NEAR gemessen wurde. Die Supination veränderte sich nicht. Der Ellbogenwinkel vergrößerte sich von 89,9 auf 107° mit zunehmender Entfernung der Tastatur von der Tischkante. Die Handgelenkauflage hatte hier keinen Einfluss. Die Schulterflexion nahm mit dem Abstand der Tastatur von der Tischkante ebenfalls zu. Die Abduktion und Innenrotation war am größten bei NEAR.</p> <p>Zusammenfassend: Die Ulnarduktion konnte bei Vergrößerung des Abstandes der Tastatur von der Tischkante (FAR 4°, MID 5°) beinahe auf neutrale Handgelenkhaltung gesenkt werden. Da die Handgelenk-Extension dabei aber zunahm, wurde die Verwendung einer Handgelenk- oder Unterarmauflage empfohlen, die durch ihre Höhe die Extensionswerte wieder auf das Niveau des unter NEAR gemessen Bereiches zurückführte. Bei der Auflage ist</p>	2



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
		darauf zu achten, dass keine Kanten vorhanden sind, die zu Druckstellen führen könnten.	
<p><i>Lintula, M.; Nevala-Puranen, N.; Louhevaara, V.: Effects of Ergorest arm supports on muscle strain and wrist positions during the use of the mouse and keyboard in work with visual display units: a work site intervention. Int. J. Occup. Saf. Ergon. 7 (2001), S. 103-116</i></p>	103	<p>In dieser Studie wurden als Unterarmauflagen Ergorests getestet. Diese können an der Tischkante montiert werden, sind höhenverstellbar und die Unterarme können in die beweglichen Schalen gelegt werden. 21 Testpersonen testeten die Auflagen während sechs Wochen, dabei wurden sie in drei Gruppen eingeteilt: Gruppe 1 arbeitete mit einem Ergorest nur für den Arm, der die Maus betätigte. Gruppe 2 hatte zwei Ergorests. Gruppe 3 benutzte keine Auflagen.</p> <p>Vor und nach den sechs Wochen wurden während der Ausführung vorgegebener Aufgaben die Muskelaktivitäten (<i>M. trapezius descendens</i> und <i>M. extensor digitorum</i> je rechts und links), Handgelenkshaltungen (Extension/Flexion und Ulnar-/Radialduktion) und subjektiv wahrgenommene Muskelanspannungen (Nacken, Schultern, Ober-, Unterarme, Handgelenke, Hände, Finger) gemessen bzw. erfragt. Die Messungen erfolgten für die Benutzung der Maus und der Tastatur über die Dauer von zehn Minuten.</p> <p>EMG-Messungen: Der Gebrauch von Unterarmauflagen reduzierte signifikant die Muskelaktivitäten des linken <i>M. trapezius</i> in Gruppe 2 während der Maus- und Tastaturbenutzung. Allerdings waren auch die Werte der Kontrollgruppe nach den sechs Wochen bei der Tastaturbenutzung vermindert.</p> <p>Handgelenkhaltung: In Gruppe 2 fielen die Winkelwerte der rechten Handgelenk-Extension nach der Intervention ca. 10° geringer aus als in Gruppe 1 und 3. Die linke Ulnarduktion verringerte sich leicht beim Tippen in Gruppe 1 und 3, in Gruppe 2 vergrößerte sie sich leicht.</p> <p>Subjektive Muskelanspannung: Weder vor noch nach der Intervention konnten signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen festgestellt werden.</p> <p>Die Ergorests wurden individuell sehr unterschiedlich angenommen. Von Gruppe 2 gab es allerdings keine negativen Rückmeldungen und die Vorteile fielen insbesondere bei längerem Schreiben ins Gewicht. Wenn das Tippen öfter unterbrochen und die Tätigkeit verändert werden musste, hatten die Testpersonen Probleme mit den Ergorests, weil es zu viel Zeit brauchte, mit den Ergorests erneut eine angenehme Position zu finden. Gruppe 1 klagte, dass mit nur einer Armauflage zu viele Tippfehler gemacht wurden.</p> <p>Zusammenfassend: Es wurden große individuelle Unterschiede beobachtet. Die Armauflagen Ergorests sind nur bei beidseitigem Gebrauch zu empfehlen, besonders bei längerem Tippen. An</p>	3



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
		ergonomischen Arbeitsplätzen, bei denen die Unterarme anderweitig unterstützt werden können, sind Ergorests nicht zu empfehlen.	
<p><i>Marcus, M.; Gerr, F.; Monteilh, C.; Ortiz, D.J.; Gentry, E.; Cohen, S.; Edwards, A.; Ensor, C.; Kleinbaum, D.:</i> A prospective study of computer users: II. Postural risk factors for musculoskeletal symptoms and disorders. <i>Am. J. Ind. Med.</i> 41 (2002), S. 236-249</p>	34	<p><i>Siehe Anhang A</i></p>	3
<p><i>Rempel, D.; Krause, N.; Goldberg, R.; Benner, D.; Hudes, M. Goldner, G.:</i> A randomised controlled trial evaluating the effects of two workstation interventions on upper body pain and incident musculoskeletal disorders among computer operators. <i>Occup. Environm. Med.</i> 63 (2006), S. 300-306</p>	104	<p>In dieser prospektiven Studie wurden über die Zeitspanne von einem Jahr 182 Mitarbeiter/-innen in einem Callcenter, die keine Beschwerden in Nacken, Schulter oder oberen Extremitäten hatten, untersucht. Es wurden vier Interventionen durchgeführt:</p> <ul style="list-style-type: none"> • A: ergonomisches Training • B: Trackball und ergonomisches Training • C: Unterarmauflage und ergonomisches Training • D: Unterarmauflage, Trackball und ergonomisches Training <p>Das ergonomische Training beinhaltete die Unterweisung, wie der Arbeitsplatz in Bezug auf die Anordnung der Maus bzw. des Trackballs, der Sitzhaltung, der Einstellung der Monitorhöhe usw. richtig eingerichtet wird. Beim Trackball handelte es sich um eine Marble Mouse von Logitech mit einer Kugel von 4 cm Durchmesser. Die Testpersonen gaben wöchentlich ihre Beschwerden an: Überschritten diese ein festgesetztes Limit, fand eine medizinische Untersuchung statt.</p> <p>Während der 52 Wochen hatten 102 Testpersonen Beschwerden im oberen Körperbereich. Nach einer Untersuchung konnte bei 77 eine spezifische Diagnose gestellt werden, davon betrafen 39 den Nacken/Schulter-Bereich, 29 die rechte obere Extremität und 17 die linke obere Extremität.</p> <p>Die Testpersonen in den Interventionsgruppen gaben weniger Beschwerden an im Vergleich zur Kontrollgruppe. Die Armauflage reduzierte das Risiko von Nacken-Schulter-Problemen um fast die Hälfte. Auch für die oberen Extremitäten brachte sie geringfügige Vorteile. Die Intervention B ergab lediglich leicht signifikante Beschwerdereduktionen in den linken oberen Extremitäten, nicht aber in den rechten, obwohl 98 % der Testpersonen die Maus bzw. den Trackball mit rechts benutzten. Es gab keine signifikanten Unterschiede in der Produktivität.</p> <p>Bei einer Armauflage ist es wichtig, dass sie die richtige Größe und Form hat, damit positive Effekte erzielt werden können. Die Unterarmauflage in dieser Studie wurde vor der Tastatur befestigt, war in der Mitte schmal, seitlich 30,5 cm tief und insgesamt 76,2 cm lang (also länger als die Tastatur selber). Die Auflage unterstützte die Mitte des Unterarms und nicht das Handgelenk, wo die Sehnen und Nerven relativ dicht unter der</p>	2



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
		<p>Haut liegen. Die Unterarmauflage konnte zusätzlich die Handgelenk-Extension reduzieren, da die relative Höhe der Tastatur vermindert wurde.</p> <p>Zusammenfassend: Eine Armauflage konnte die Beschwerden besonders im Nacken-/Schulterbereich reduzieren. Es wurde darauf hingewiesen, dass das Eintreten des positiven Effektes einige Wochen Zeit braucht. Der Trackball hatte lediglich für die linke obere Extremität leicht signifikante Beschwerdeverbesserungen gebracht. Über die Ergebnisse für die restlichen ergonomischen Interventionen wurde nichts erwähnt.</p>	
<p><i>Sillanpää, J. N.; Uitti, J.; Takala, E.; Kivi, P.; Kilpikari, I.; Laippala, P.</i>: Muscular activity in relation to support of the upper extremity in work with a computer mouse. <i>Int. J. Hum.-Comp. Interaction</i> 15 (2003), S. 391-406</p>	106	<p>Bei 14 Mausbenutzern wurden beim Arbeiten mit der Maus unter Nutzung von Unterarm- und Handgelenkaufgaben Laboruntersuchungen durchgeführt. Bei der Unterarmauflage befand sich das Mauspad direkt neben der Tastatur am hinteren Ende des Tisches, sodass der Unterarm auf der Tischplatte liegen konnte. Für die Handgelenkaufgabe wurde ein Mauspad mit Handgelenkpolster (20 mm dick) benutzt, das sich neben der Tastatur an der Tischkante befand. Die Tischhöhe wurde 1 cm über Ellbogenhöhe eingestellt. Es wurden kurze, d. h. ca. 75 Sekunden dauernde Aufgaben gestellt, bei denen durch Ermüdung verursachte Haltungsänderungen vermieden werden sollten. Ein EMG wurde von folgenden Muskeln abgeleitet: <i>M. extensor carpi radialis</i>, <i>M. extensor carpi ulnaris</i>, <i>M. flexor carpi radialis</i>, <i>M. flexor carpi ulnaris</i>, <i>M. deltoideus anterior</i> und <i>medialis</i>, <i>M. infraspinatus</i>, <i>M. trapezius pars descendens</i>. Zusätzlich zur EMG-Messung wurden die Testpersonen mit Reflexionsmarkern ausgerüstet und Videoaufnahmen gemacht. Schließlich gaben die Testpersonen subjektive Beurteilungen ab.</p> <p>EMG-Messungen: Die Muskelaktivitäten des <i>M. trapezius</i> (statisch, Medium und Maximum) und die statische Belastung des <i>M. deltoideus anterior</i> waren signifikant niedriger, wenn mit Unterarmauflagen gearbeitet wurde. Für den <i>M. infraspinatus</i> (Schulter-Außenrotation) hingegen zeigte sich eine Belastungszunahme mit Unterarmauflage. Der <i>M. extensor carpi radialis</i> zeigte mit Unterarmauflage und die Flexoren mit Handgelenkaufgabe im EMG eine geringere Aktivität.</p> <p>Handhaltungen: Die Handgelenk-Extension war unter beiden Bedingungen gleich. Mit benutzter Unterarmauflage war die Ulnardeviation ausgeprägter (5,7° zu 2,9°) und über einen größeren Zeitraum vorhanden (30 % zu 25 % der Zeit > 5°).</p> <p>Subjektive Meinung: Die Testpersonen favorisierten leicht die Unterarmauflage.</p> <p>Zusammenfassend: Die Unterarmauflage führte im Vergleich zur Handgelenkaufgabe zu einer verringerten Beanspruchung der Muskulatur im Schulterbereich. Beim Arbeiten mit Unterarmauflage</p>	2



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
		wurden im Unterarmbereich die Strecker weniger belastet, die Flexoren jedoch dafür mehr. Dieser Befund korreliert mit dem Ergebnis der Handhaltungsanalyse; hier zeigte sich bei Benutzung der Handgelenkauflage eine geringere Ulnardeviation. Die Testpersonen sahen in der Benutzung der Unterarmauflage leichte Vorzüge.	
Smith, M.; Karsh, B.; Conway, F.; Cohen, W.; James, C.; Morgan, J.; Sanders, K.; Zehel, D.: Effects of a split keyboard design and wrist rest on performance, posture, and comfort. Hum. Factors 40 (1998), S. 324-336	105	<p>18 Testpersonen testeten während fünf Tagen zwei Tastaturen, eine konventionelle und eine alternative, deren Merkmale ein getrennter numerischer Block und getrennte ausgedrehte Tastaturhälften waren. Die Hälfte der Testpersonen arbeitete mit Handgelenkauflagen, die andere Hälfte ohne.</p> <p>Performance: Testpersonen, die keine Auflage benutzten, wiesen zwischen dem ersten und zweiten Tag keinen Unterschied in der Performance auf, mit Handgelenkauflage verbesserte sich die Performance. Mit Handgelenkauflage gaben sie an, mehr Kontrolle über ihr Schreiben zu haben und gaben höheren Komfort an. Bei Testpersonen, die ohne Auflage arbeiteten, wurde eine stärker ausgeprägte Handgelenk-Extension (links) beobachtet. Alle Unterschiede waren jedoch gering.</p>	2
Stack, B.: Keyboard RSI: the practical solution. Muden Publishing Company, Tasmania, 1987	31	siehe Anhang A	Keine wissenschaftliche Arbeit: Buch in Form eines Erfahrungsberichtes
Visser, B.; de Korte, E.; van der Kraan, I.; Kuijper, P.: The effect of arm and wrist supports on the load of the upper extremity during VDU work. Clin. Biomech. 15 (2000), S. 34-38	107	<p>Zehn Probandinnen absolvierten eine Aufgabe von elf Minuten jeweils mit der Maus und mit der Tastatur unter fünf Bedingungen: keine Hand-/Armauflage (WS), jeweils zwei verschiedene Unterarmauflagen (EA und ER) und Handgelenkauflagen (TT und TC). Die Unterarmauflagen bestanden aus zwei Schalen, konnten an die Tischkante montiert werden und waren in horizontaler Ebene beweglich. In Größe und Aufbau der Gelenke bestanden Unterschiede. Die beiden Handgelenkauflagen waren ebenfalls an der Tischkante zu befestigen und waren in Material und Größe verschieden. Es wurde die Muskelaktivität des <i>M. trapezius descendens</i> rechts gemessen und ausgewertet; dabei wurden in Relation zum MVC Werte im 10. Perzentil (P10) als statische Werte, der Median (P50) und die Spitzenwerte (P90) angegeben. Subjektive Beurteilungen wurden ebenfalls erfasst.</p> <p>Tastatur: P10-, P50- und P90-Werte waren signifikant niedriger bei Benutzung der Unterarmauflagen EA verglichen mit den anderen vier Bedingungen. Der Gebrauch von ER führte zu geringerem P90-Wert im Vergleich zu TT, TC und WS. Bei TT-Benutzung waren höhere Werte für P10, P50 und P90 verglichen mit WS und mit den anderen Auflagen</p>	2



Literaturstelle	Nr.	Inhalt	Bewertung
		<p>zu beobachten. Der Wert für P90 bei TC war niedriger als bei WS.</p> <p>Maus: Auch beim Mausgebrauch führte die Benutzung von TT zu höheren Werte im Vergleich zu denen, die unter allen anderen Versuchsbedingungen gemessen wurden. P10-, P50- und P90-Werte waren bei EA und EC niedriger als bei TT und TC. Der P90-Wert war ohne Auflage niedriger, als wenn TC zum Auflegen des Handgelenks gebraucht wurde.</p> <p>Subjektive Beurteilung: Hier konnte nur ein signifikanter Unterschied festgestellt werden: TC wurde EA wegen einer besseren Bewertung des Komforts in der Hand-/Handgelenk-Region vorgezogen.</p> <p>Zusammenfassend: Die Ergebnisse der EMG-Messung sprachen für einen positiven Effekt der Armauflagen auf die muskulären Belastungen. Handgelenkaufgaben gingen zum Teil sogar mit negativen Einflüssen auf die Belastung des <i>M. trapezius</i> einher. Die Beurteilung nach der subjektiven Einschätzung der Testpersonen stimmte nicht mit den EMG-Ergebnissen überein. Dies kann an den kurzen Testphasen liegen.</p> <p>Problem: kleine Probandenzahl.</p>	
<p>Woods, V.; Hastlings, S.; Buckle, P.; Haslam, R.: Ergonomics of using a mouse or other non-keyboard input device. Hrsg.: University of Surrey and Loughborough University 2002</p>	<p>3</p>	<p>siehe Anhang A</p>	<p>2</p>