

Review zu physischer Beanspruchung bei der Nutzung von Smart Mobile Devices

baua: Bericht

Forschung

P. Tegtmeier

**Review zu physischer Beanspruchung bei
der Nutzung von Smart Mobile Devices**

Dortmund/Berlin/Dresden 2016

Diese Veröffentlichung berichtet Ergebnisse einer Studie zur „Psychischen Beanspruchung bei der Nutzung von Smart Mobile Devices“, die dem Forschungsfeld „Arbeit im Betrieb menschengerecht gestalten. Innovative Technologien bei Arbeitsmitteln und Arbeitssystemen“ der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) zugeordnet ist.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Autorin.

Autorin: Dr. Patricia Tegtmeier
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

Titelfoto: Eugenio Maronglu/iStock

Gestaltung: Regina Grahl
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

Herausgeber: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA)
Friedrich-Henkel-Weg 1 - 25, 44149 Dortmund
Postanschrift: Postfach 17 02 02, 44061 Dortmund
Telefon: 0231 9071-2071
Telefax: 0231 9071-2070
E-Mail: info-zentrum@buaa.bund.de
Internet: www.buaa.de

Berlin:
Nöldnerstr. 40 - 42, 10317 Berlin
Telefon: 030 51548-0
Telefax: 030 51548-4170

Dresden:
Fabricestr. 8, 01099 Dresden
Telefon: 0351 5639-50
Telefax: 0351 5639-5210

Die Inhalte der Publikation wurden mit größter Sorgfalt erstellt und entsprechen dem aktuellen Stand der Wissenschaft. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der Inhalte übernimmt die BAuA jedoch keine Gewähr.

Nachdruck und sonstige Wiedergabe sowie Veröffentlichung, auch auszugsweise, nur mit vorheriger Zustimmung der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.



www.buaa.de/dok/8444644

DOI: 10.21934/buaa:bericht20161024

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Kurzreferat	5
Abstract	6
1 Ausgangslage	7
2 Methode	9
3 Ergebnisse	10
3.1 Physische Beanspruchung im Kopf/Nacken und Oberkörper	11
3.1.1 Mobiletelefone und Smartphones	11
3.1.2 Tablet-PCs	15
3.1.3 Weitere und unspezifizierte Smart Devices	17
3.1.4 Bewertung der Beanspruchung im Kopf/Nacken und Oberkörper	18
3.2 Physische Beanspruchung im Unterarm und der Hand	24
3.2.1 Mobiltelefone und Smartphones	24
3.2.2 Tablet-PCs	30
3.2.3 Weitere und unspezifizierte Smart Devices	34
3.2.4 Bewertung der Beanspruchung im Unterarm und der Hand	35
3.3 Risiken physischer Beanspruchung im Bereich Augen	44
4 Gesamtbewertung	45
5 Fazit	47
Literaturverzeichnis	48
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	53
Anhang	54

Review zu physischer Beanspruchung bei der Nutzung von Smart Mobile Devices

Kurzreferat

Neue mobile Technologien Tablet-PCs und Smartphones finden immer weitere Verbreitung sowohl privat als auch im Büro, Außendienst als auch zunehmend in der Produktion und Logistik. Dadurch ergeben sich auch neue Chancen und Herausforderungen für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit. Das vorliegende Scoping Reviews bietet einen Überblick der aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnisse (bis Januar 2016) zu physischer Belastung und Beanspruchung im Zusammenhang mit der Nutzung von Tablet-PCs und Smartphones.

Es wurden 41 wissenschaftliche Studien für das Review extrahiert, die meisten davon Laborstudien. Der Schwerpunkt der Beiträge lag auf biomechanischen Parametern. Nur zwei der Untersuchungen befassten sich mit visuellen Auswirkungen der Nutzung von Smart Devices.

Anhand der Studienergebnisse lassen sich insbesondere für den Nacken sowie die Daumen erhöhte Risiken physischer Beanspruchung durch länger andauernde Verwendung feststellen. Der Versuch Blendungen und Reflektionen auf den Geräten durch Abschattung mit dem eigenen Körper zu vermeiden, trägt zusätzlich zu ungünstigen Haltungen bei. Und das Verfassen von Textnachrichten mit repetitiven, sehr schnellen Bewegungen erhöht das Risiko für Tendinopathien.

Grundsätzlich sollten Tablets und Smartphones daher eher kurzzeitig genutzt werden. Dem mobilen Einsatz in unterschiedlichen Beleuchtungen sollte mit möglichst reflektionsarmen Displays Rechnung getragen werden. Für die Geräteauswahl sollten Gewicht und Bildschirmgröße mit Blick auf die Arbeitsaufgabe abgewägt werden. Bei länger andauerndem Einsatz kann Zubehör wie eine externe Tastatur helfen Haltung und Komfort zu verbessern. Weitere Forschung zur Nutzung von Tablet, Smartphone und anderen Smart Devices im Arbeitskontext erscheint notwendig.

Schlagwörter:

Smartphone, Mobiletelefon, Tablet-PC, physische Beanspruchung, Haltung, Texten

Smart Mobile Devices and Physical Strain – a Review

Abstract

New mobile technologies like tablet PCs and smartphones are used privately as well as in the office, and increasingly also in production and logistics. This creates new opportunities and challenges for OSH. The present scoping review provides an overview of current scientific knowledge (until January 2016) about physical stress and strain associated with the use of tablet PCs and Smartphones.

The 41 scientific studies extracted for the review were mostly laboratory research focused on biomechanical parameters. Only two studies dealt with the visual impact of using smart devices. Based on the reported results, an elevated risk of physical stress, especially for the neck and the thumb can be stated. Trying to reduce glare and reflections on the devices, using the own body for shading, further contributes to unfavourable postures. Texting with repetitive, very fast movement increases the risk of tendinopathy.

Basically, tablets and smartphones should be used rather briefly. Because mobile devices are used under diverse lighting conditions, they should be equipped with low-reflection displays. The optimal combination of weight and necessary screen size should be based on the task at hand. For longer periods, accessories like an external keyboard may help to improve posture and comfort. Further research into the use of tablet, smartphone and other smart devices seems necessary.

Key words:

smartphone, mobile phone, tablet-pc, physical strain, posture, texting

1 Ausgangslage

Mobile Computertechnologien oder auch Smart Devices in Form von Tablet-PCs, Smartphones, Smartwatches ebenso wie verschiedene Varianten von Datenbrille bieten, finden immer weitere Verbreitung (Dennerlein 2015). Nach Daten der Bitkom (Lutter et al. 2015) ist die Smartphone Nutzung in Deutschland von 36 Prozent Nutzenden in 2012 auf 65 Prozent in 2015 gestiegen. Die Verwendung von Tablet-PCs erhöhte sich im gleichen Zeitraum von 13 Prozent auf 40 Prozent (vgl. Abb. 1.1). Eine verstärkte Verfügbarkeit von drahtlosen Internetverbindungen und neue technologische Entwicklungen ermöglichen es, mit diesen Smart Devices von (fast) überall aus zu arbeiten (Kamp et al. 2015, Welskop-Deffaa 2016). Daher werden Smartphones, Tablets und weitere Smart Devices sowohl privat als auch im Büro und Außendienst als Ergänzung oder gleich ganz als Ersatz für Desktop-PCs eingesetzt (Kamp et al. 2015). Neben herkömmlichen Bildschirmarbeitsplätzen im Büro finden Smart Devices auch im Rahmen von Industrie 4.0 zunehmend Einsatz in Produktion und Logistik (Mauritz 2015, Adolph 2016).

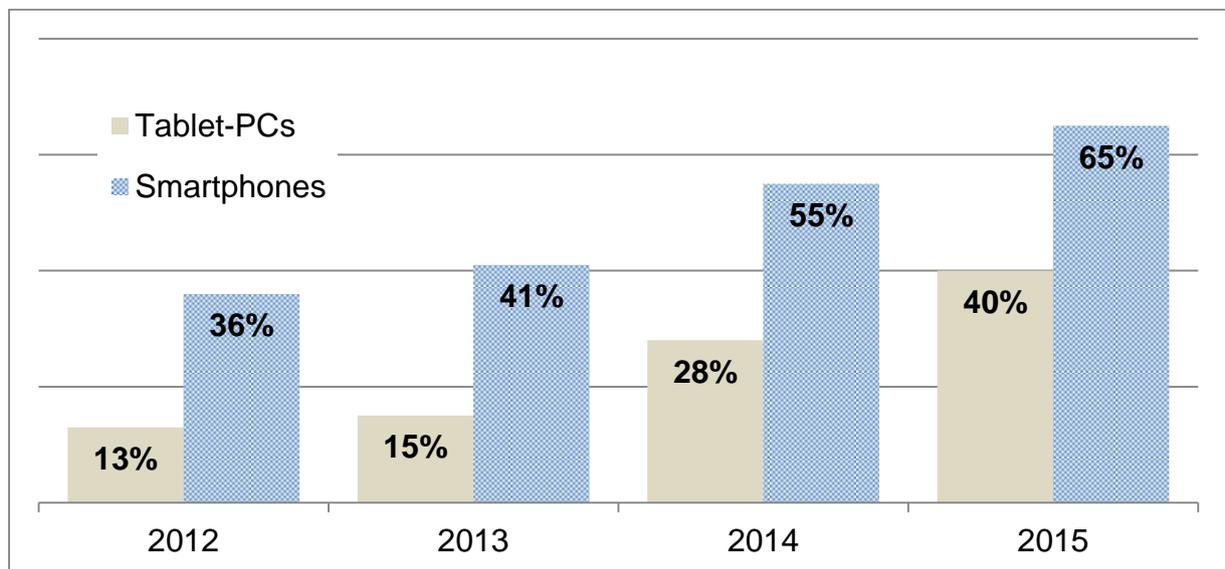


Abb. 1.1 Smartphone und Tablet-Nutzung in Deutschland. Eigene Darstellung basierend auf Daten aus Lutter et al. (2015)

Aus der Integration von Smart Devices in den Arbeitsprozess ergeben sich neue Chancen und Herausforderungen für die Ergonomie und den Arbeitsschutz. Bestehende Empfehlungen für Bildschirmarbeitsplätze können durch die Mobilität der Smart Devices nur bedingt übertragen werden. So geben z. B. Touchscreens und insbesondere virtuelle Tastaturen keine taktile Rückmeldung zur Lage der Finger in Bezug zu den Bedienelementen. Damit ist für die Anwendung ein ständiges visuelles Feedback notwendig. Je nach Positionierung der mobilen Geräte birgt dies die Gefahr einer Haltung mit stark vorgebeugtem Kopf, die nicht im Einklang mit ergonomischen Erkenntnissen steht (DIN 9241-303, Masseida et al. 2013). Auch gewandelte und neue Umgebungsbedingungen und Arbeitskonfigurationen im Zusammenhang mit dem mobilen Einsatz von Smart Devices sind in diesem Zusammenhang eher kritisch zu betrachten (Dennerlein 2015, Honan 2015). Darüber hinaus entwickeln sich mit kleineren Touchscreen Geräten neue Facetten der Mensch-Maschine Inter-

aktion. Hier sind vor allem das Tippen ausschließlich mit einem oder beiden Daumen sowie die häufig eingesetzten Multitouch-Gesten (z. B. Wischen, Zwei-Finger-Rotation, Zwei-Finger Pinzetten-Gesten) zu nennen.

Bedenken vor möglichen gesundheitlichen Auswirkungen u. a. mit Blick auf chronischen Muskel-Skelett-Erkrankungen, die mit (übermäßiger) Nutzung assoziiert werden können, wachsen (Dennerlein 2015). Wissenschaftliche Untersuchungen zu Auswirkungen von Smart Devices auf die Anwendenden haben in den vergangenen Jahren analog zur Verwendung der Geräte in der Bevölkerung stark zugenommen. Ziel dieser Reviews ist daher, anhand der aktuellen Literatur (bis Januar 2016), die Herausforderungen mit Fokus auf physische Aspekte mobiler Arbeit mit Smart Devices für die Ergonomie zu identifizieren.

2 Methode

Der Suchstring für dieses Scoping Review bestand aus drei Stringkomponenten: den Smart Devices, den physischen Auswirkungen sowie einem Set zum Eingrenzen der Kontextvariablen und Zielpopulation.

Für die Komponente der Smart Devices wurden in Anlehnung an Kamp et al. (2015) Smartphones, Mobiltelefone, Tablet-PCs, E-Book-Reader sowie Smartwatches in diversen Schreibweisen inkludiert. Obwohl sie ebenfalls der mobilen Computertechnologie zuzuordnen sind, wurden Laptops und Datenbrillen auf Grund der spezifisch anderen Bedienweise nicht mit in den Suchstring aufgenommen. Für umfassende Untersuchungen zu Bedingungen des sicheren und beanspruchungsoptimalen Einsatzes von Datenbrillen/Head-Mounted-Displays sei an dieser Stelle auf die Arbeiten von Theis et al. (2016), Wille (2016) und Grauel et al. (2014) verwiesen.

Hinsichtlich der physischen Auswirkungen wurde nach biomechanischen Parametern (Haltung, Muskelaktivität, Druck auf Gewebe), Befinden und Gesundheit (Schmerzen, Müdigkeit, Komfort/Diskomfort muskulo-skelettale und visuelle Beschwerden) sowie motorischen und visuellen Leistungsaspekten gesucht.

Eingegrenzt wurde die Suche hinsichtlich des Zeitpunktes der Veröffentlichung. Mit 2007 wurde hier das Jahr gewählt, in dem das erste iPhone auf den Markt kam. Untersuchungen zu Auswirkungen mit Fokus auf elektromagnetische Strahlung wurden ausgeschlossen. Ebenso wurden Untersuchungen ausgeklammert, in denen mobile Smart Devices im Rahmen von medizinischen und/oder therapeutischen Behandlungen eingesetzt wurden, da hier die Effektivität der jeweiligen App und der Behandlungserfolg im Vordergrund lagen. Weiterhin wurde eine ausschließlich humane Zielpopulation ohne Einschluss von Kindern gewählt. Die Suche beschränkte sich auf Artikel in englischer und deutscher Sprache.

Mittels des finalisierten Suchstrings (Anh., Tab.1 im Anhang) wurden die Datenbanken PubMed, EBSCOHOST und Web of Science durchsucht. Die mit dieser automatisierten Suche erhaltenen Treffer wurden auf Basis von Querverweisen und Literaturangaben per Handsuche ergänzt.

3 Ergebnisse

Nach Ausschluss doppelter Treffer wurden 465 Literaturstellen auf Basis von Titeln, Abstracts und Keywords bewertet. Von der weiteren Bearbeitung ausgeschlossen wurden Validierungsstudien, Vorstellungen von neuen/modifizierten Messverfahren, Dissertationen sowie Referenzen ohne Beschreibung konkreter empirischer Ergebnisse.

So wurden 84 Studien identifiziert, bei denen eine Volltextsuchung durchgeführt wurde. Gründe für den Ausschluss auf Volltextebene waren folgende: Die Fragestellung stand nicht im Vordergrund, das Vorliegen einer anderen Studiensprache als Deutsch oder Englisch, die berichteten Daten wurden deutlich vor 2007 erhoben, unzureichende Studienqualität, ein Review oder Theoriebeitrag. Da die Mehrheit der Artikel zum Thema aus dem Jahr 2015 stammte, wurden auch Reviews in der weiteren Darstellung nicht berücksichtigt. Die exponentiell steigende Verteilung über die Jahre hinweg ist in Abb. 3.1 dargestellt.

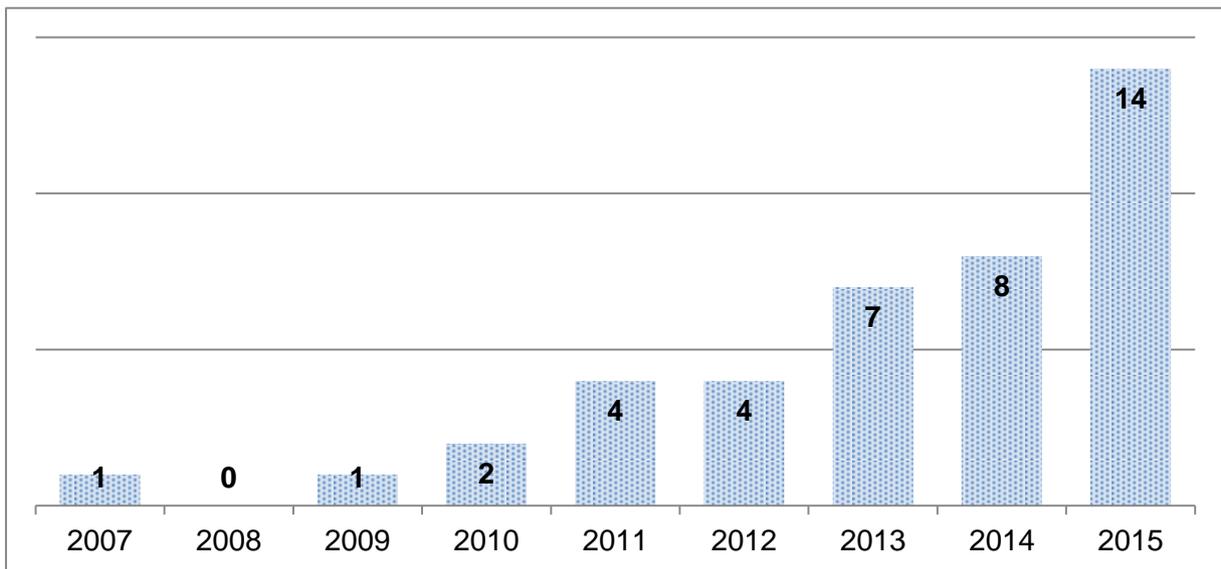


Abb. 3.1 Häufigkeiten der extrahierten, berücksichtigten Studien im Zeitverlauf

Von den insgesamt 41 integrierten Volltexten betrachteten drei einen Einsatz von Smart Devices im Arbeitskontext (Liu et al. 2014, Bretschneider-Hagemes 2011, Stawarz & Benedyk 2013). Bei den meisten Untersuchungen handelte es sich um Laborstudien. Der Schwerpunkt lag auf biomechanischen Parametern. Zwei der extrahierten Beiträge untersuchten visuelle Auswirkungen der Nutzung von Smart Devices. Tab. 3.1 stellt die Verteilung hinsichtlich der untersuchten Aspekte dar. Mehrfachnennungen sind möglich, so dass die jeweils angegebene Gesamtzahl der Studien von der Summe der aufgelisteten Studien abweichen kann.

Tab. 3.1 Inhaltliche Zuordnung der extrahierten Studien

	Interventionsstudien			Nicht-Interventionsstudien			
	Kopf/ Nacken, Schulter/ Oberarm	Unter- arm / Hand- gelenk / Hand	Augen	Kopf/ Nacken, Schulter/ Oberarm	Unter- arm/ Hand- gelenk/ Hand	Augen	Gesamt- zahl der Studien
Gesundheit	17	13		2	7		25
Befinden	2	2	1	3	2		6
Leistung	2	8	2				10
Summe	18	21	2	4	8		41

In der folgenden Darstellung sind die Studien nach untersuchten Bereichen organisiert. Nachstehend folgen zunächst Ergebnisse für die oberen Extremitäten getrennt für Tablet und Smartphone Nutzung. Die dort berichteten Neigungen der Gelenkwinkel beziehen sich auf eine neutrale Null-Stellung. In dieser Null-Stellung ist der Rücken gerade aufgerichtet. Der Kopf und Nacken sind nicht gebeugt oder gedreht; der Blick ist geradeaus gerichtet. Oberarme und Unterarme hängen seitlich neben dem Körper. Die Handgelenke sind gerade und in Linie mit dem Unterarm. Die Daumen sind seitlich neben der Handfläche positioniert. Andere Winkelangaben wie z. B. die Kopfneigung als Frankfurter Horizontale wurden der besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse zwischen den Studien umgerechnet. Die Studien mit Fokus auf Belastungen der Augen durch mobile Computer Technologie werden im Anschluss dargestellt.

3.1 Physische Beanspruchung im Kopf/Nacken und Oberkörper

Insgesamt beschäftigten sich 22 der Studien mit physischer Beanspruchung im Bereich Kopf und/oder Nacken, oberer Rücken, Schulter/Oberarm im Zusammenhang mit der Nutzung von Smart Devices. Untersucht wurden neben biomechanischen Aspekten der Haltung und Muskelaktivität subjektive Beschwerden und Befinden. Gelenkwinkel wurden teilweise getrennt für die Kopf- und Nackenneigung angegeben und im Weiteren hier auch so wiedergegeben. Andere berichteten eher die Gesamtauslenkung des Kopfes aus der Senkrechten, hier als Kombinationswinkel Kopf-Nacken bezeichnet.

3.1.1 Mobiltelefone und Smartphones

In einer Beobachtungsstudie erfassten Gold et al. (2012) die Körperhaltung von 879 Personen während der Nutzung verschiedener Smartphones und anderer Mobiltelefone an verschiedenen öffentlich zugänglichen Orten. Dabei wurden die Telefone sowohl sitzend als auch stehend, teilweise auch liegend genutzt, wobei bei

91 Prozent der Nutzenden ein gebeugter Nacken ($> 10^\circ$) beobachtet wurde. Daneben zeigten sich bei insgesamt 27,9 Prozent vorgezogene Schultern während der Anwendung. Männer wurden insgesamt signifikant häufiger mit vorgezogenen Schultern gesehen (35,5 % zu 23,7 % der Frauen). Weiterhin berichteten die Autoren für 20,3 Prozent einen vorgebeugten Rumpf ($> 10^\circ$). Mit überstrecktem Rumpf ($> 10^\circ$) nutzten 7,1 Prozent der Beobachteten ihr Telefon.

Bachynskyi et al. (2015) konnten für die Interaktion mit verschiedenen Touch-Interfaces gerätspezifische Haltungskuster zeigen. Wurde ein Smartphone (mit 4,8" Display) im Sitzen mit beiden Händen gehalten, positionierten die Versuchspersonen das Telefon sehr nahe am Gesicht. Dabei waren entweder beide Ellenbogen auf den Armstützen abgelegt und der Rücken gerade an die Rückenstütze gelehnt oder sie saßen mit ausgestreckten Beinen deutlich zurückgelehnt. Eine weitere identifizierte Haltung zeigte eine aufrechte Sitzhaltung, während das Telefon auf Kniehöhe gehalten wurde. Für einhändiges Halten und Bedienen geben Bachynskyi et al. eine Haltung mit vorgebeugtem Oberkörper und auf die Armlehne aufgestütztem rechten Ellenbogen an. In den anderen Varianten saßen die Untersuchten aufrecht, teils mit überschlagenen Beinen oder in einem Cluster mit dem Smartphone nahe am Gesicht. Anhand der bildlichen Darstellung der Haltungen ist zudem in den meisten Clustern ein nach vorn geneigter Kopf zu vermuten. Im Gegensatz zum beidhändigen Halten zeigte sich in der einhändigen Nutzung weniger Muskelaktivität im oberen Rücken. Dagegen waren die seitlichen und rückwärtigen Schultermuskeln stärker aktiviert. Auf Grund der gefundenen Haltungen sahen die Autoren Smartphones weder in der ein- noch in der beidhändigen Bedienvariante für lang andauernde Nutzung geeignet.

Eine Untersuchung der Kopf-Nacken-Neigung in Abhängigkeit der Aufgabe und der Gesamtkörperhaltung zeigte bei Lee, S. et al. (2015) die stärkste Neigung beim Verfassen von Texten¹ auf dem eigenen Smartphone mit 39° - 47° im Vergleich zum Browsen (33° - 43°) oder Videokonsum (32° - 44°). In allen Aufgaben war der gemessene Neigungswinkel im Sitzen im Vergleich zu stehender Smartphone Nutzung signifikant größer.

Entsprechende Kopf-Nacken-Winkel finden sich auch bei Ning et al. (2015). Berichtet werden 46° für Texten, Spielen 44° sowie Lesen 42° auf einem 3,5" Smartphone bei stehender Haltung. Die im Nacken gemessene Muskelaktivität (Cervical Erector Spinae) lag links (nur Halten) bei ca. 9 Prozent der maximalen willkürlichen Muskelkontraktion (MVC) und auf der rechten Seite (Interaktion mit dem Touchscreen) bei ca. 12,7 Prozent MVC.

Dagegen fanden Kietrys et al. (2015) unter selbstgewählter Haltung einen Kopf-Nackenwinkel von $21,9^\circ$ ohne Unterschied zwischen der Verwendung eines Mobiltelefons mit Keypad und einem 3,5" Smartphone. Einhändiges Halten und Bedienen

¹ Da das Wort Tippen sowohl für das Verfassen von zusammenhängenden Texten als auch das Antippen von einzelnen Bedienelementen zur Auswahl verwendet wird, wurde in diesem Review der in den Untersuchungen häufig verwendete Begriff Texten für das Verfassen von Wörtern und Nachrichten übernommen. Tippen wurde nur im Sinne der Inhaltsauswahl als kurze Einzelbewegung wiedergegeben.

resultierte dabei in einem geringfügig kleineren Kopf-Nacken-Winkel von $19,5^\circ$ zu $21,5^\circ$ bei beidhändiger Haltung und Interaktion (Effektstärke² $r = 0,12$).

Vergleichbare Werte mit $18,5^\circ$ bei Ein-Hand-Bedienung bzw. $20,8^\circ$ für beidhändiges Halten auf Brusthöhe schildern Ko et al. (2015) für ein 4" Smartphone. Für zwei weitere Smartphone-Positionen mit beiden Händen auf Kopfhöhe ebenso wie mit vorgebeugtem Oberkörper und auf den Oberschenkeln ruhenden Unterarmen fanden Ko et al. dagegen neutrale Nackenhaltungen (Effektstärke zu den erstgenannten Positionierungen $\min r = 0,99$). In Abhängigkeit zur Halteposition berichten Ko et al. unterschiedliche Muskelaktivität im oberen Rücken (Trapezius pars descendens) und Oberarm (Biceps brachii). Wurde das Smartphone auf Augenhöhe gehalten (= wenig Nackenneigung) zeigte sich eine Aktivität im oberen Rückenmuskel von 6,2 Prozent MVC und unter Einhandbedienung von 4,4 Prozent. Die Muskelaktivität im Oberarm wurde für die Positionierung auf Augenhöhe und für die Ein-Hand-Bedingung mit 5,4 Prozent bzw. 5,1 Prozent MVC gemessen. Dagegen lag die Muskelaktivität im oberen Rücken bei tieferer Handposition um 2 Prozent (Effektstärke zu den höheren Haltepositionen $r \geq 0,85$) und war mit 1 Prozent signifikant am geringsten, wenn die Unterarme auf den Oberschenkel abgelegt wurden (Effektstärke zu hohen Haltepositionen $r \geq 0,96$, zu beidhändig in Brusthöhe $r = 0,93$). Auch die Muskelaktivität im Oberarm sank mit geringerer Haltehöhe. Die signifikant geringste Muskelaktivität von 1,6 Prozent MVC ergab sich in der tiefen Haltebedingung mit abgelegten Unterarmen (zu allen anderen Bedingungen mit einer Effektstärke von $r \geq 0,95$). Die Autoren sprachen sich auf Grund ihrer Ergebnisse für beidhändiges Texten aus, möglichst mit einer Entlastung der Unterarme durch Stützgelegenheiten.

In einer Laborstudie verglichen Gustafsson et al. (2011) Personen mit Beschwerden im Schulter-Nacken-Bereich und einer beschwerdefreien Kontrollgruppe beim Texten auf Mobiltelefonen. Bei nur 8 von insgesamt 56 Versuchspersonen wurde ein Kopf-Nacken-Winkel unter 20° Beugung gemessen. Personen mit Beschwerden wiesen signifikant häufiger eine Nackenneigung über 40° auf (starker Effekt nach Cohen, $r = 0,53$). In der Gruppe mit Beschwerden wurden deutlich weniger häufig die Rücken- oder Armlehnen genutzt (Effektstärke von $r = 0,50$ bzw. $0,48$). Gleichzeitig lag die Muskelaktivität im oberen Rücken unter Verwendung der Unterarmlehnen bei 2,2 Prozent. Wurden die Lehnen nicht genutzt, wurde dagegen eine durchschnittliche Aktivität von 5,7 Prozent MVC gemessen. In einer vorherigen Veröffentlichung basierend auf den gleichen Erhebungen berichteten Gustafsson et al. (2010) eine signifikant höhere Aktivität von 8-9 Prozent MVC, wenn im Stehen getextet wurde. Auch hier wurde die Hauptursache für die höhere Muskelaktivität in der fehlenden Entlastung der Arme durch eine Auflagemöglichkeit gesehen. Nach Argumentation des Autorenteam sind in der fehlenden Nutzung der Rücken- und Armstützen sowie der stärkeren Nackenneigung eher Ursachen als Folgen der Beschwerden im Schulter-Nacken-Bereich zu sehen.

² Abhängig von den angewandten statistischen Verfahren fanden sich in den Studien Angaben zu Effektstärken teils in Form von Cohen's d und teils als Korrelationskoeffizienten. Um einen Vergleich zwischen den Studien zu vereinfachen, wurden alle angegebenen Effektstärken zu Korrelationskoeffizienten konvertiert. Waren keine Effektstärken angegeben, wurden diese soweit möglich anhand der angegebenen Teststatistiken berechnet.

In einer Replikationsstudie zu Gustafsson et al. (2010, 2011) mit 3,5" Smartphones fanden Xie et al. (2015) vergleichbare Muskelaktivität im oberen Rücken. Mit 5,4 Prozent MVC (beidhändiges Halten und Texten) bzw. 6 Prozent MVC (einhändiges Halten und Texten) wies auch hier die Gruppe mit Beschwerden im Schulter-Nacken-Bereich eindeutig höhere Muskelaktivität im oberen Rücken auf als die beschwerdefreie Kontrollgruppe mit beidhändig 2,3 Prozent bzw. einhändig 3,3 Prozent MVC (Effektstärke einhändig $r=0,41$, beidhändig Texten $0,30$). Auch in der parallel abgeleiteten Muskelaktivität im Nacken lagen die Werte für die Gruppe mit Beschwerden mit 13,3 Prozent MVC beidhändig bzw. 13,7 Prozent MVC einhändig tendenziell über denen der Kontrollgruppe mit 11,3 Prozent bzw. 11,8 Prozent MVC. In beiden Gruppen lagen die gemessenen Werte eher über denen beim ebenfalls getesteten Tippen auf einer Computertastatur (mit Beschwerden 12,8 Prozent MVC, Kontrolle 9,9 Prozent). Die Autoren sahen dies in der stärkeren Flexion des Kopfes in den Smartphone-Bedingungen begründet. In den nach jeder Bedingung erhobenen subjektiven Einschätzungen zu körperlichen Beschwerden und der Muskelanstrengung lagen die Werte für die Gruppe mit Beschwerden in allen getesteten Bedingungen über denen der Kontrollgruppe.

Höhere Muskelaktivität im oberen Rücken, insbesondere in der Bedingung des einhändigen Haltens und Textens berichteten Lee, M. et al. (2015). Sie fanden bei einhändiger Bedienung eine Aktivität von 11,1 Prozent MVC im Vergleich zur beidhändigen Bedienung mit 5,8 Prozent MVC (signifikanter Unterschied zwischen den Bedingungen mit einer mittleren Effektstärke von $r=0,49$). Beide Bedienvarianten führten im Vergleich zur Baseline (5,5) vor dem Texten zu einer eindeutigen Verringerung der Schmerzschwelle für Druck auf den Rückenmuskel (beidhändig 3,4, $r=0,34$ und einhändig 2,9, $r=0,42$) - ein Hinweis auf die Ermüdung im entsprechenden Muskel.

Lin und Peper (2009) untersuchten neben der Muskelaktivität auch die Atem- und Herzrate sowie die Hautleitfähigkeit während des aktiven Textens und dem Erhalt einer Antwort im Vergleich zur Baseline (vor und nach der Aufgabe) mit gehaltenem Gerät ohne weitere Aktivität. Dabei erhöhte sich die Muskelaktivität im oberen Rücken, sowohl wenn aktiv getextet wurde (prä 2,8 Prozent Muskelaktivität vs. 7,9 Prozent), als auch wenn eine Nachricht empfangen wurde (prä 2,8 Prozent vs. 10,8 Prozent Muskelaktivität). Gleichzeitig wurde beim Empfang einer Nachricht zunächst der Atem angehalten, danach kurz und flach geatmet (durch diese Kombination zeigte sich im Durchschnitt kein Unterschied zur Baseline). Während der „Text-Aufgabe“ war der Atem durchgehend sehr kurz und flach (Baseline 13,7 vs. Texten 18,1) bei gleichzeitig erhöhter Herzrate (Baseline 78,6 vs. Texten 82,1) und Hautleitfähigkeit (Baseline 4,2 vs. Texten 9,3). Insgesamt schilderten Lin und Peper ein „Erstarren“ der Körperposition bei der Interaktion mit dem Gerät, das zusammen mit dem abgeflachten Atem möglicherweise der Stabilisation des Körpers während der Aufgabe geschuldet sei. Die meisten Versuchspersonen bemerkten diese physiologischen Veränderungen während der Interaktion mit dem Gerät nicht. Dagegen berichteten 83 Prozent (10/12) Beschwerden in der Hand und/oder im Nacken während des Textens. Die subjektive Beanspruchung erhöhte sich sowohl während des Textens (Baseline 2,8 vs. Texten 4,2) als auch beim Empfang einer Nachricht (4,3 vs. Baseline 2,8).

3.1.2 Tablet-PCs

In einer Fragebogenerhebung zur Nutzung von 10" Tablet-PCs und Büroarbeit durch Stawarz und Benedyk (2013) gaben 66 Prozent von 85 Befragten an, beim Texten zumindest gelegentlich Beschwerden im Nacken (22 Prozent nach längerer Nutzung bis sehr häufig) und/oder den Schultern (25 Prozent nach längerer Nutzung bis häufig) zu spüren. Die berichteten Beschwerden hielten die Beschäftigten nicht davon ab, die Tablets weiterhin zu nutzen. Mit weiteren 11 Personen wurden weiterhin Interviews und Beobachtungen vor Ort in typischen Nutzungssituationen am jeweiligen Arbeitsplatz durchgeführt. Typische selbstgewählte Positionierungen des Tablets waren vornehmlich sitzend auf einem Tisch, dem Schoß ebenso wie frei in der Hand gehalten. Alle Beobachteten wiesen einen gebeugten Nacken und einen vorgebeugten Rumpf auf. Vorhandene Armstützen wurden ignoriert – die Ellenbogen „schwebten“ bei hochgezogenen Schultern in der Luft.

Im Gegensatz zu den bereits unter 3.1.1 verzeichneten Haltungen mit einem Smartphone beschrieben Bachynskyi et al. (2015) für die Interaktion mit einem 10" Tablet hauptsächlich eine tiefe Positionierung auf Bauchhöhe, wobei das Tablet z. T. mit Knie bzw. Bein gestützt wurde. Nur in einem von fünf extrahierten Haltungsclustern wurde das Tablet näher zum Gesicht gehalten. Wie auch in den eben genannten Beobachtungen von Stawarz und Benedyk wurde die Rückenlehne von keiner der teilnehmenden Personen genutzt. Eine hohe Aktivierung spezifischer Muskelgruppen zeigte sich während der Interaktion mit dem Tablet in der seitlichen und rückwärtigen Schulter des zeigenden Arms. Auf der Seite des haltenden Arms wurden vor allem die vordere und die bei der Außenrotation des Oberarms beteiligte Schultermuskulatur sowie der Oberarm beschrieben. In der durchgeführten Zeigeaufgabe ergaben sich für das Tablet schlechte Performance Werte. Eine längere Nutzung sah das Forscherteam nur bei korrigierter Haltung, um Nackenproblemen vorzubeugen (nach Abbildung erscheinen mindestens drei Haltungen mit deutlich geneigtem Nacken).

Ning et al. (2015) maßen in ihrer Studie zur Kopf-Nacken-Beugung während der Nutzung eines 10" Tablet-PCs Winkel von 43° (äquivalent zu denen beim Smartphone s. o.). Auch die Aktivität in den Nackenmuskeln unterschied sich nicht zwischen der Nutzung eines Smartphones und der des Tablets. Insgesamt zeigte sich für beide Geräte aufgabenabhängig eine signifikant niedrigere Muskelaktivität beim Lesen (rechtsseitig 11 % MVC, links > 8 %) im Vergleich zum Spielen oder Texten (rechtsseitig > 13 % MVC, links > 9 %).

Deutliche Effekte verschiedener vorgegebener und selbstgewählter Tablet Positionen auf die Stärke der Kopf- und Nackenneigung finden sich bei Vasavada et al. (2015). Die geringste Abweichung zu einer neutralen aufrechten Haltung mit 24° Kopfneigung fanden sie für eine Leseaufgabe mit einem 10" Tablet auf einem Tisch mit einem Aufsteller auf 73° (Effektstärke $r = 0,86$). In der Lesebedingung mit diesem Tablet auf dem Schoß in einem auf 15° geneigten Aufsteller wurde dagegen ein Kopfwinkel von 41° gemessen (Effektstärke $r = 0,93$). Für die parallel gemessene Neigung des Nackens ergaben sich Winkel von 12,1° bis 25,1° Beugung (Effektstärke $r = 0,67$ bzw. 0,85). Bei selbstgewählter Position hatten 50 Prozent mehr als die Hälfte der Zeit das Tablet auf dem Schoß, 25 Prozent mehr als die Hälfte der Zeit in der Hand. Selten wurde das Tablet am Tisch und/oder im Aufsteller bedient. Aus den eingenommenen Kopf- und Nackenhaltungen wurde die Schwerkraftbelastung berechnet, die durch die Nacken- und Rückenmuskulatur auszugleichen war. Im Vergleich zur

aufgerichteten Haltung ergaben sich für das Lesen mit einem hohen Aufsteller eine 3,4-mal höhere Belastung (Effektstärke $r = 0,67$) bis hin zur selbstgewählten Positionierung mit einer 5-mal höheren Belastung (Effektstärke $r = 0,70$). Für die ebenfalls durchgeführten Tippaufgaben ergaben sich mit einer 4,1- bis 5-mal höheren auszugleichenden Schwerkraftbelastung ähnliche starke Effekte (Effektstärken $r \geq 0,64$). Obwohl das Schreiben eine andere, direkte Interaktion als die Leseaufgabe erforderte, waren Handpositionierung, Kopf-Nackenneigung und Schwerkraftmoment davon unabhängig gleich hoch. Die selbstgewählten Positionen ergaben keine signifikant abweichenden Werte.

Auch Young et al. (2012 und 2013) testeten die Auswirkungen verschiedener Aktivitäten (Browsen, Spielen, Texten und passiver Videokonsum) und Tablet Positionen auf die Kopf- und Nackenneigung. Bei Betrachtung eines Films mit dem 10" Tablet in einem steil aufgerichteten Aufsteller befanden sich sowohl Kopf- als auch Nackenneigung im neutralen Bereich. Dagegen zeigten sich in den aktiven Bedingungen (Texten, Spielen und Browsen) Kopfneigungen von 19° - 20° (Effektstärke $r \geq 0,98$) und Nackenneigungen von 9° - 14° ($r \geq 0,91$). Young et al. berichteten für alle Bedingungen einen Betrachtungswinkel von ca. 85° . Je flacher die Tablet Neigung, desto stärkere Kopf-Nacken-Neigungen wurden gemessen - der ganze Kopf wurde zum Sehen „mitgenommen“. Weiterhin fanden die Autoren (2013), dass beim Texten mit dem Tablet auf dem Tisch die Oberarme am weitesten nach oben (24° vs. Schoß 18° $r = 0,76$) und kaum seitlich gehoben (um 7° vs. Schoßvariante 12° $r = 0,85$) wurden. Zudem waren die Schultern der Versuchspersonen in den aktiven Tisch-Bedingungen um 6° hochgezogen ($r = 0,65$). Die Muskelaktivität im oberen Rücken lag je nach Interaktionsbedingung und Tablet Position zwischen 0,7 Prozent MVC (beidhändiger Haltung, Schoß) bis zu 3,0 Prozent MVC (Texten auf dem Tisch liegend). Für die vordere Schultermuskulatur wurden Aktivitäten von 1,8 Prozent (beidhändige Handhaltung, Schoß) bis 4,2 Prozent MVC (Tisch und Texten) gemessen. In Anbetracht ihrer Ergebnisse rieten die Autoren, bei längerer Benutzung das Tablet eher auf einer erhöhten Oberfläche (Tisch) abzulegen und einen steilen Aufsteller zu verwenden, soweit dies die geplante Interaktion mit dem Tablet zuließe.

Im Vergleich verschiedener Device-Größen (3,5", 7" und 10" alle beidhändig gehalten) fanden Kietrys et al. (2015) mit Kopf-Nackenneigungen von $21,9^\circ$, $21,8^\circ$ und $22,6^\circ$ keine nennenswerten Unterschiede. Die Muskelaktivität im oberen Rücken war insgesamt gering (unter 2 % MVC). Tablets wurden im Gegensatz zu Minitablets signifikant häufiger von den Versuchspersonen auf dem Schoß positioniert (7" = 10 %, 10" = 60 %, Effektstärke $r = 0,58$). Auch wurden hier zur Texteingabe häufiger neben dem Daumen weitere Finger eingesetzt (7" = 15 %, 10" = 70 %, $r = 0,58$). Damit einhergehend berichten Kietrys et al. eine eher stärkere Kopfneigung und höhere Muskelaktivität im oberen Rücken, um diese Neigung auszugleichen. Daraus folgernd sehen die Autoren in kleineren, leichteren Devices mit virtuellem Keyboard eine Möglichkeit die biomechanische Belastung zu verringern.

Neben verschiedenen Tabletgrößen testeten Pereira et al. (2013) auch den Einfluss von Texturen, Orientierungen und Haltehilfen. In allen Bedingungen lag dabei der Abstand von den Augen zum Tablet bei ca. 33 cm. Im Vergleich zu einer neutralen Referenzhaltung wurden Kopfneigungen von $24,4^\circ$ (Tablet 10"), $21,9^\circ$ (Minitablet 7") und $23,3^\circ$ (Phablet/Smartphone 5,3") unabhängig vom weiteren Tablet Design gemessen. Grundsätzlich zeigte sich keine nennenswerte Rumpfneigung, wobei eine stärkere Kopfneigung mit einem vorgebeugteren Rumpf oder tieferen Ellenbogen

assoziiert war. Auf der Halteseite stieg die Muskelaktivität im oberen Rücken geringfügig mit der Gerätegröße: von Phablet/Smartphone 4,8 Prozent MVC, Minitablet 5,0 Prozent zu Tablet 6,2 Prozent (Effektstärke 10" zu 5,3" $r=0,13$). Die Versuchspersonen äußerten eine Präferenz für kleine und mittlere Tablets gegenüber großen. Diese erhielten auch höhere Werte in der subjektiven Haltesicherheit. Die Schätzung einer möglichen Haltedauer war mit mehr als 35 Minuten für das Phablet doppelt so lang wie die für das große Tablet mit knapp 15 Minuten (Effektstärke $r=0,33$). Zudem war subjektive Ermüdung in Nacken (Effektstärke $r=0,35$) und Schulter (Effektstärke $r=0,44$) geringer. Das Autorenteam kam zu der Empfehlung, besser kleinere und mittlere Tabletgrößen mit einer rauen Rückseite und ggf. Leisten für bessere Griffigkeit zu verwenden. Weiterhin sollten die Geräte insgesamt nicht lange gehalten werden.

Plegge und Alexander (2015) untersuchten Auswirkungen des Haltens von 10" Tablets mit fünf unterschiedlichen Schwerpunktlagen auf die Muskelaktivität in oberem Rücken und Oberarm. Das Tablet wurde in der linken Hand gehalten. Der Schwerpunkt lag entweder zentral in der Mitte des Tablets oder war jeweils zu den vier Außenkanten verschoben. Dabei ergaben sich bei zentralem Schwerpunkt für den oberen Rücken Muskelaktivitäten von 4,4 Prozent MVC. War der Schwerpunkt zur oberen Kante verschoben fanden sich Muskelaktivitäten von 5 Prozent MVC und für die untere Kante von 5,8 Prozent MVC. Auf die Muskelaktivität im Oberarm hatte insbesondere eine Verlagerung des Tablet Schwerpunktes nach rechts (also von der haltenden Hand nach außen) mit 7,1 Prozent MVC eine deutlich höhere Aktivierung als in den anderen Bedingungen (zentral 4,8 % vs. links 3,5 %, oben 4,7 %, unten 5,2 %) zur Folge. Zudem berichteten die Versuchspersonen insbesondere bei einer Schwerpunktverschiebung nach rechts über zunehmende Anstrengungen das Tablet in Position zu halten.

Neben den Einflüssen des Haltens eines 10" Tablets untersuchten Lozano et al. (2011) die Einflüsse verschiedener im Kontext von Smart Devices häufig genutzter Multitouch-Gesten. Sie fanden auf der haltenden, nichtdominanten Seite Muskelaktivität im Oberarm von 9,5 Prozent MVC sowie in der Schultermuskulatur von 6,3 Prozent MVC. Auf der dominanten, zeigenden Seite ergab sich im vorderen Schultermuskel die höchste Aktivität mit 9,2 Prozent MVC bei der Rotationsbewegung von Daumen und Zeigefinger (umeinander nach rechts) gefolgt von einer Wischbewegung des Zeigefingers nach oben mit 8,7 Prozent MVC. Seitliche Wischbewegungen des Zeigefingers bewirkten die niedrigsten Muskelaktivitäten mit 5,1 Prozent bzw. 5,4 Prozent. Hier zeigte sich, dass sich Multitouch-Gesten der Finger spezifisch auf das gesamte Hand-Arm-Schulter System auswirkten.

3.1.3 Weitere und unspezifizierte Smart Devices

Von 140 Personen gaben in einer Selbsteinschätzung zur Nutzung nicht näher spezifizierter zum Texten geeigneter Mobile Devices von Berolo et al. (2011) im Hinblick auf den Schulter-Nacken-Bereich 68 Prozent Beschwerden im Nacken an. Beschwerden im oberen Rücken nannten 62 Prozent sowie 52 Prozent in der rechten und 46 Prozent in der linken Schulter. Ein post-hoc Vergleich von Viel- zu Wenignutzenden ($\leq 2,375$ h/Tag Kontrolle, $> 2,375$ Exponierte) fand die Nutzungsdauer assoziiert mit mittleren und starken Schmerzen in der linken Schulter (OR= 3,35, mittlere Effektstärke $r=0,32$), der rechten Schulter (OR= 4,7, $r=0,39$) und mit geringerer Effektstärke im Nacken (OR= 2,13, $r=0,20$).

Bretschneider-Hagemes (2011) untersuchte 183 Messtechniker, die diverse Mobile Devices für direkte Mess- und Wartungsarbeiten ebenso wie für die Dokumentation vor Ort einsetzten. In einer Selbsteinschätzung zu Beanspruchungen über verschiedene Symptomskalen berichteten diese im Vergleich zu einer Referenzgruppe von Servicetechnikern ohne mobile IT signifikant häufiger Rückenschmerzen (89 % vs. 64 %, dies entspricht einer mittleren Effektstärke $r=0,39$) und Schulter-/Nackenschmerzen (89 % vs. 55 %, Effektstärke $r=0,46$). Weiterhin sahen sich 34 Prozent u. a. auf Grund von Zwangshaltungen gefährdet. Beobachtungen am jeweiligen Arbeitsplatz ergaben dabei, dass häufig in dunklen, verschmutzten, engen Räumen ohne Abstellmöglichkeit für die Mobile Devices gearbeitet wurde. Eingaben in die mobile IT wurden daher freihändig, an ungeeigneten Ablageflächen oder im KFZ durchgeführt.

Auswirkungen unterschiedlicher Device Gewichte standen in einer Studie von Knight und Baber (2007) im Fokus. Die Versuchspersonen sollten ein am Handgelenk befestigtes PDA in „Uhr-Ablese-Position“ halten und mittels Datenstift verschiedene Nummern im Display eingeben. Bereits ohne zusätzliches Gewicht führte die angenommene Haltung zu einer Muskelaktivität von 7 Prozent MVC im Oberarm, 8 Prozent seitlich und 20 Prozent MVC im vorderen Bereich der Schulter. Steigendes Gewicht führte zu einem linearen Aktivitätsanstieg in allen abgeleiteten Muskeln. Einschätzungen zu Beschwerden im Arm, der Schulter und dem Nacken erhöhten sich sowohl mit steigendem Gewicht als auch über die Zeit. Die Muskelermüdung spiegelte sich in verringerten Gelenkwinkeln mit steigender Anzahl an Durchläufen. Die Untersucher sprachen sich für ein Gewicht unter 540 Gramm aus und wiesen auf die Notwendigkeit einer spezifischen Risikoanalyse für unterschiedliche Aufgaben und unterschiedliche Haltungen hin. Entsprechende Kriterien sollten nicht nur an der Muskelaktivität festgemacht werden, sondern die subjektiven Beschwerden als sensitives Maß mit berücksichtigen.

3.1.4 Bewertung der Beanspruchung im Kopf/Nacken und Oberkörper

Die Ergebnisse aus den extrahierten Studien zur Körperhaltung werden im Folgenden in Relation zu einer Risiko-Analyse der Haltung unter Nutzung des Rapid Upper Limb Assessment (RULA) von McAtamney und Corlett (1993) diskutiert. RULA ist ein validiertes ergonomisches Erhebungsinstrument, in dem Winkelstellungen von Oberarmen, Unterarmen, Handgelenken, Hals, Rumpf und Beinen in ein Punkteschema übertragen werden. Die Haltungsbewertungen werden zunächst getrennt durchgeführt, um Punkte für Muskeleinsatz und Gewichtsbelastungen ergänzt und dann in einen Gesamtpunktstand überführt. Je höher die kombinierten Abweichungen von einer neutralen Stellung sind, desto höher ist der Gesamtpunktstand. Eine Nackenneigung von 0° - 10° erhält z. B. die geringste Einzelrisikobewertung, 11° - 20° resultiert in der nächst höheren und eine Nackenneigung über 20° wieder in einer höheren Bewertung. Die Kopfnneigung wird, soweit sie einzeln ausgewiesen wurde, zusätzlich dem in DIN 9241-303 beschriebenen Komfortbereich (entspricht einer Kopfnneigung von 0° - 20°) gegenübergestellt. Ergebnissen im Vergleich mit den oben genannten Bewertungsverfahren finden sich in Tabelle 3.2.

Tab. 3.2 Interventionsstudien zu Gelenkwinkeln im Nacken, Rücken und Oberarm

Quelle	Device und Haltung	Winkel Schulter, Oberarm	Winkel Nacken, Kopf bzw. Kombinationswinkel Kopf-Nacken
Kietrys et al. 2015	Mobilphone physische Tasten, Smartphone sitzend		Kombinationsneigung $\geq 20^\circ$
Ko et al. 2015	Smartphone		Kombinationsneigung $\leq 20^\circ$
Lee, S. et al 2015	Smartphone sitzend		Kombinationsneigung mindestens $> 20^\circ$ bis $> 40^\circ$
Ning et al. 2015	Smartphone stehend		Kombinationsneigung $> 40^\circ$
Knight & Barber 2007a	PDA sitzend	Schulter: Flexion $< 20^\circ$ Abduktion $> 20^\circ$	
Kietrys et al. 2015	Tablet sitzend		Kombinationswinkel $> 20^\circ$
Vasavada et al. 2015	Tablet sitzend		je nach Bedingung Kopf $> 20^\circ$ bis $> 40^\circ$ Nacken $> 10^\circ$ bis $> 20^\circ$
Young et al. 2012	Tablet sitzend		Kopf aktive Nutzung $> 20^\circ$ Nacken aktive Nutzung $> 10^\circ$
Young et al. 2013	Tablet sitzend	Schulter: Flexion nach Bedingung $> 20^\circ$ bzw. $< 20^\circ$ Abduktion alle Bedingungen $< 20^\circ$ Elevation nach Bedingung $< 0^\circ$ bzw. $> 5^\circ$	
Ning et al. 2015	Tablet stehend		Kombinationswinkel $> 40^\circ$
Pereira et al. 2013	Tablet stehend		Kopf $> 20^\circ$
Knight & Barber 2007b	HMD		Kombinationswinkel $> 20^\circ$

Anmerkung: die Winkelangaben erfolgen jeweils als Abweichung zu einer neutralen, aufgerichteten Position.

Auch alle von Stawarz und Benedyk (2013) im Arbeitskontext beobachteten Tablet Nutzer wiesen einen gebeugten Nacken und einen vorgebeugten Rumpf auf, die zu höheren RULA-Bewertungen durch die Forschenden führten. In den experimentellen Studien, in denen ein Tablet verwendet wurden (Kietrys et al. 2015, Vasavada et al. 2015, Young et al. 2012, Ning et al. 2015, Pereira et al. 2013), zeigte sich einheitlich eine starke Neigung von über 20°, teilweise über 40°. Drei Forschergruppen wiesen spezifisch den Kopf- und Nackenwinkel aus. Neben einem Kopfwinkel von mehr als 20° (Young et al. 2012, Pereira et al. 2013) bis je nach Bedingung mehr als 40° (Vasavada et al. 2015), wurden hier weiterhin Nackenwinkel von 10° bis mehr als 20° gemessen. In der Studie von Vasavada et al. (2015) wurden die äußerlich abgeleiteten Winkel mit parallel gewonnenen Röntgenaufnahmen verglichen. Der mittels Röntgen bestimmte Kopfwinkel lag bei 30° und war hoch mit den beobachteten korreliert ($r=0,98$). Die Nacken- ($r=0,79$) und kombinierten Kopf-Nacken-Winkel ($r=0,50$) hatten etwas geringere Übereinstimmungen. Gerade bei einem als Kombination gemessenen Kopf-Nacken-Winkel kann durch gegenläufige Auslenkung die Stärke der Einzelwinkel verfälscht werden.

Insgesamt lässt sich für die aktive Verwendung aller Geräte eine als belastend einzustufende Kopf-/Nackenneigung resümieren. Dabei führten selbstgewählte Positionierung und Haltung nicht zu signifikant weniger Belastung als von außen vorgegebene (Vasavada et al. 2015). In der Erhebung von Lin und Peper (2009) zeigten zehn von zwölf Versuchspersonen infolge des Textens auf einem Smartphone Beschwerden im Nacken und/oder in der Hand an. Die subjektive Beanspruchung erhöhte sich sowohl während des Textens als auch beim Empfang einer Nachricht. Auch 68 Prozent der von Berolo et al. (2011) Befragten berichteten im Zusammenhang mit der Nutzung diverser mobiler (Smart) Devices Beschwerden im Nacken sowie 62 Prozent im oberen Rücken. Und die von Bretschneider-Hagemes (2011) untersuchten 183 Messtechniker berichteten im Vergleich zu einer Referenzgruppe von Servicetechnikern ohne mobile IT signifikant häufiger Rückenschmerzen (89 Prozent vs. 64 Prozent) und Schulter-/Nackenschmerzen (89 Prozent vs. 55 Prozent) zu haben. In Anbetracht der oben aufgeführten Nackenneigungen und der daraus resultierenden z. T. fünfmal höheren Schwerkraftbelastung (Vasavada et al. 2015) für die Nacken- und Rückenmuskulatur erscheinen diese Beschwerden naheliegend.

Weiterhin hatten 52 Prozent der dort Befragten Beschwerden in der rechten und 46 Prozent in der linken Schulter. Gold et al. beobachteten mehr als ein Viertel der Nutzenden (Männer häufiger als Frauen) mit vorgezogenen Schultern während der Smartphone Benutzung. Young et al. (2013) wiesen speziell für eine Bedingung, in der ein Tablet-PC während des Textens auf einem Tisch abgelegt wurde, um 6° nach oben gezogene Schultern nach. Auch Stawarz und Benedyk (2013) berichteten von hochgezogenen Schultern und angehobenen Ellenbogen bei der Tablet Nutzung, während gleichzeitig vorhandene Rücken- und Armstützen, wie auch in der Untersuchung von Bachynskyi et al. (2015), ignoriert wurden.

Gerade die Nichtnutzung der Rücken- und Armlehnen bewirken eine Belastung für den gesamten Oberkörper. Sowohl Smartphones wie auch Tablets haben eine eher kleine Interaktionsfläche. Werden die Geräte mit beiden Händen gleichzeitig genutzt, müssen diese eng gehalten werden. Je breiter die Schultern einer Person sind, desto eher werden diese dabei vor dem Körper zusammen geführt. Insgesamt erscheinen

auch die Schultern und Ellenbogen während der Nutzung von mobilen Touchscreen Geräten nicht belastungsfrei.

In der Mehrheit der berücksichtigten Artikel wurden verschiedene Muskelaktivitäten als Parameter der physiologischen Beanspruchung während der Interaktion mit den Smart Devices angegeben. Aktivitäten in spezifischen Muskeln lassen sich kaum in bestimmte Winkelstellungen der Gelenke überführen. So fand z. B. Fountain (2003) keine Korrelation zwischen spezifischen Gelenkwinkeln nach RULA und Ableitungen der Muskelaktivität. Eine insgesamt hohe Varianz der Muskelaktivität verschleierte ggf. vorhandene Zusammenhänge.

Anhaltende und intermittierende Muskelanspannungen führen zu physiologischen Ermüdungserscheinungen. Grenzen für eine Muskelaktivität mit geringem Risiko für Muskel-Skelett-Erkrankungen werden unterschiedlich angegeben. Jörgensen et al. (1988) fand bei einer Muskelaktivität von zehn Prozent der maximalen freiwilligen Muskelkontraktion (MVC) keine Muskelermüdung nach einer Stunde. Dagegen riet Jonsson (1982), im Hinblick auf das Risiko für Muskel-Skelett-Erkrankungen, fünf Prozent MVC nicht zu überschreiten. Und in Untersuchungen von Sjøgaard et al. (1986) fanden die Teilnehmenden bereits Muskelaktivitäten unter fünf Prozent MVC nach einer Stunde ermüdend. Speziell mit Blick auf die Aktivität in den Schulter- und Nackenmuskeln belegten Studien von Aaras (1990, 1994), dass das Risiko für Muskel-Skelett-Beschwerden sankt, je mehr Anteile von einem Prozent MVC pro Zeitdauer gegeben sind. Die nachfolgenden Vergleiche beruhen auf den berichteten Ergebnissen zum Median (50. Perzentil) der gemessenen Muskelaktivitäten und werden in Bezug zur Muskelaktivität von fünf Prozent nach Jonsson gesetzt (vgl. auch Tab. 3.3).

Tab. 3.3 Interventionsstudien zu Muskelaktivität im Nacken, Rücken und Oberarm

Quelle	Device und Haltung	EMG in % MVC oberer Rücken, Schulter, Oberarm	EMG in % MVC Nacken
Gustafsson et al. 2010	Mobilphone, physische Tasten sitzend & stehend	Rücken je nach Bedingung > 5 % bzw. < 5 %	
Kietrys et al. 2015	Mobilphone. physische Tasten, Smartphone sitzend	Rücken < 5 %	
Ko et al. 2015	Smartphone	Rücken je nach Bedingung < 5 % bzw. > 5 % Oberarm je nach Bedingung < 5 % bzw. > 5 %	
Lee, M. et al. 2015	Smartphone sitzend	Rücken je nach Bedingung mindestens > 5 % bis > 10 %	
Ning et al. 2015	Smartphone stehend		links > 5 % rechts > 10 %
Xie et al. 2015	Smartphone sitzend	Rücken je nach Bedingung < 5 % bzw. > 5 %	> 10 %
Knight & Barber 2007a	PDA sitzend	Schulter > 20 % Oberarm > 5 %	
Kietrys et al. 2015	Tablet sitzend	Rücken < 5 %	
Lozano et al. 2011	Tablet sitzend	Schulter > 5 % Oberarm > 5 %	
Young et al. 2013	Tablet sitzend	Rücken < 5 % Schulter < 5 %	
Ning et al. 2015	Tablet stehend		rechts > 10 % links > 5 %
Pereira et al. 2013	Tablet stehend	Rücken je nach Bedingung > 5 % bzw. < 5 %	

Quelle	Device und Haltung	EMG in % MVC oberer Rücken, Schulter, Oberarm	EMG in % MVC Nacken
Plegge & Alexander 2015	Tablet gehend	Rücken ≥ 5 % Oberarm je nach Bedingung ≥ 5 %	

Anmerkung: MVC bezeichnet den Referenzwert der freiwilligen maximalen Muskelkontraktion.

Wenn im Stehen auf dem Smartphone oder dem Tablet-PC getextet wurde, maßen Ning et al. (2015) Muskelaktivität im Nacken³ von linksseitig mehr als fünf Prozent MVC und rechtsseitig mehr als zehn Prozent MVC. Für die gleiche Aufgabe im Sitzen gaben Xie et al. (2015) (nur Smartphone) ebenfalls eine Aktivität von mehr als zehn Prozent MVC im Nacken an. Bezogen auf den Nacken lässt sich aus den Ergebnissen dieser beiden Studien ein deutliches Risiko für Muskel-Skelett-Erkrankungen vermuten.

Im oberen Rücken⁴ wiesen Personen mit Beschwerden im Nacken und Schulterbereich in der Studie von Xie et al. Muskelaktivität von über fünf Prozent MVC auf, während in einer Kontrollgruppe geringere Aktivitäten zwischen zwei und drei Prozent MVC gemessen wurden. In beiden Gruppen lag die Aktivität unter der beim Tippen auf einer Computertastatur. Abhängig davon, ob beidhändig oder einhändig auf dem Smartphone getextet wurde, fanden Lee, M. et al. (2015) Muskelaktivität im oberen Rücken von mehr als fünf Prozent bzw. über zehn Prozent MVC. Gleichzeitig sank die Druckschmerzschwelle für den oberen Rückenmuskel; ein Hinweis auf die Muskelermüdung. Dagegen ergaben sich in den Untersuchungen von Gustafsson et al. (2010) Muskelaktivitäten im oberen Rücken über fünf Prozent MVC nur, wenn stehend auf Mobiltelefonen getextet wurde. Alle sitzenden Bedingungen lagen hier wie auch in den Erhebungen von Kietrys et al. (2015) (Smartphone, Minitablet und Tablet) und Young et al. (2013) (Tablet) unter fünf Prozent MVC. Ko et al. (2015) berichteten für drei der von vier Positionierungen Muskelaktivitäten im oberen Rücken unter fünf Prozent MVC. Wurde das Smartphone jedoch auf etwa Augenhöhe gehalten, erhöhte sich die gemessene Aktivität auf mehr als sechs Prozent MVC. Hinsichtlich des Tablets wurden nur in den Untersuchungen, in denen die Geräte ohne Armunterstützung gehalten wurden (Pereira et al. 2013, Plegge und Alexander 2015), Muskelaktivitäten von fünf Prozent MVC und mehr im oberen Rücken entdeckt.

Insgesamt zeigt sich in Bezug auf die Aktivität in den oberen Rückenmuskeln ein eher diverses Bild, abhängig von der Positionierung der Smart Devices zum Körper. Höhere Werte wurden vor allem in Bedingungen gefunden, in denen die Geräte ohne Auflagemöglichkeit der Unterarme eher näher am Gesicht gehalten wurden. Nur in einer Untersuchung (Xie et al. 2015) wurden sowohl Ableitungen im Nacken als auch im Rücken durchgeführt, und in zwei weiteren wurden die Nackenneigung und die

³ linker und rechter Musculus erector spinae

⁴ Musculus trapezius pars descendens

Muskelaktivität im oberen Rücken gemessen (Ko et al. 2015, Kietrys et al. 2015). Aus den Ergebnissen lassen sich zwei Hinweise deduzieren: Ableitungen von Muskelaktivitäten im oberen Rücken geben keine gesicherten Anhaltspunkte für Belastungen durch starke Nackenneigung. Und/oder es findet ein Trade-Off in der Gesamtkörperbelastung statt. Entweder ergibt sich eine geringe Nackenneigung durch höhere Position der Geräte im Blickfeld, mit mehr Muskelaktivität im oberen Rücken durch das höhere Halten. Oder die Aktivität im Rücken ist bei tiefer Position unter Nutzung von Armauflagen geringer, dafür aber verbunden mit einer stärkeren Kopf-/Nackenneigung.

Das Halten eines Smart Devices in einer Uhr-Ablese-Position auf Brusthöhe führte in der Studie von Knight und Barber (2007) zu Muskelaktivitäten in der vorderen Schulter von mehr als 20 Prozent und seitlich von über 10 Prozent MVC. Werte über fünf Prozent MVC teilten Lozano et al. (2011) im vorderen Schultermuskel (nicht-dominante Seite) während des egozentrischen Haltens eines Tablets mit. Weiter zeigten Lozano et al., dass Multitouch-Gesten nicht nur die Hand beeinflussen. Je nach Geste fanden sie in der vorderen Schulter (dominante, zeigende Seite) Muskelaktivitäten von knapp über fünf Prozent bis über neun Prozent MVC. Dagegen berichteten Young et al. (2013) nur während des Textens mit auf einem Tisch abgelegten Tablet mehr als fünf Prozent MVC im vorderen Schultermuskel (nicht-dominante Seite). Im Oberarm berichteten Knight und Barber (2007), Plegge und Alexander (2015) und Lozano et al. (2011) mehr als fünf Prozent MVC durch das Halten. Bei Ko et al. (2015) zeigte sich ein deutlicher Effekt der Positionierung äquivalent zur Aktivierung im oberen Rücken. Je höher ein Smartphone zum Gesicht gehalten wurde, desto eher maßen die Forscher Aktivität von fünf Prozent MVC und mehr.

Smart Devices führen je nach Interaktion und Positionierung zu jeweils verschiedenen Körperhaltungen, die in spezifischen Belastungen resultieren. Hier erscheint es wichtig, dabei das Gesamtsystem Oberkörper im Blick zu halten und nicht nur einen Parameter (z. B. die Nackenneigung) zu optimieren. Wo die Aufgabe es zulässt, sollte die Positionierung der Devices variiert und so die physische Belastung gleichmäßig verteilt werden.

3.2 Physische Beanspruchung im Unterarm und der Hand

Auswirkungen auf die Handgelenke und das Hand-Fingersystem untersuchten insgesamt 29 Studien. Die meisten untersuchten speziell die Haltung, Muskelaktivität und Reichweite der Daumen. In Weiterführung der Studien zu Muskelaktivitäten und Gelenkstellungen, speziell der Daumen, beschäftigten sich einige klinischen Analysen mit dem Risiko für Tendinopathien der Daumensehnen auf Grund der zusätzlichen Haltearbeit und der Interaktion mit Smart Devices.

3.2.1 Mobiltelefone und Smartphones

Nach Gold et al. (2012) wurden Smartphones und andere Mobiltelefone von einem guten Drittel der von ihnen beobachteten Personen mit einer Hand gehalten und mit dem Daumen derselben Hand bedient, 46 Prozent hielten und texteten beidhändig. Die überwiegende Mehrheit (90,3 %) wies dabei eine nicht-neutrale Handgelenkstel-

lung auf. Gut die Hälfte bediente das Telefon mit einem angewinkelten Ellenbogen von weniger als 90°. Der Anteil der Frauen mit stark angewinkeltem Ellenbogen war hier signifikant höher.

Einen Effekt der Telefon-/Tastaturart auf die Handgelenkstellung beim Texten berichteten Kietrys et al. (2015). So überstreckten die Versuchspersonen die Handgelenke stärker, wenn sie Texte auf der virtuellen Tastatur eines 3,5" Smartphones eingaben (Effektstärke, $r=0,23$). Das Texten mit einer oder beiden Händen führte zu keinen abweichenden Effekten in der Gelenkstreckung (Smartphone $-13,5^\circ/-13,8^\circ$ vs. Keypad $-8,0^\circ/-7,8^\circ$, einhändige Bedienung auch nachfolgend jeweils zuerst genannt). Dagegen hatte die ein- vs. beidhändige Tippweise (mit geringer Effektstärke, $r=0,14$) Einfluss auf die seitliche Auslenkung des Handgelenks. So waren die Handgelenke in der Ein-Hand-Bedingung in Richtung des kleinen Fingers (Keypad $-5,3^\circ$, Smartphone $-4,1^\circ$) abgeknickt. Beidhändig gehalten fand sich keine seitliche Auslenkung der Handgelenke (Keypad $0,4^\circ$, Smartphone $-0,2^\circ$). Die für den speichenseitigen Handgelenkstreckener abgeleitete Muskelaktivität lag mit physischem Keypad (5,9 %/3,9 % MVC) über der mit virtueller Tastatur (3,6 %/3,0 % MVC) mit mittlerer Effektstärke im Fall der einhändigen Bedienung ($r=0,4$). Die bei halbgeschlossener, hohler Hand am Halten und Stabilisieren des Geräts beteiligten Fingerbeuger⁵ waren ebenfalls mit physischem Keypad (mit geringer Effektstärke, $r=0,21$ bzw. $0,28$) stärker aktiviert (9,4 %/10,3 % MVC) als mit Smartphone (6,8 %/5,8 % MVC). Die während des Textens im Daumen abgeleitete Muskelaktivität⁶ zeigte einen Einfluss der Telefonart mittlerer Effektstärke ($r=0,32$, $r=0,35$). Gemessen wurden Muskelaktivitäten von 16,0 Prozent bzw. 17,7 Prozent MVC für die Keypad-Bedingung im Gegensatz zu 9,8 Prozent bzw. 9,9 Prozent MVC während des Textens auf der virtuellen Tastatur des Smartphones. Die Autoren erklärten die unterschiedlichen Muskelaktivitäten mit dem höheren Gewicht des konventionellen Mobiltelefons sowie in der physisch zu drückenden Tastatur. Zur, unabhängig von der ein- oder zweihändigen Bedienung, gleichen Aktivität im Daumenmuskel merkten Kietrys et al. an, dass in der einhändigen Bedingung langsamer getippt wurde und so ggf. die höhere Wiederholungsrate der Daumenbewegung durch geringere Geschwindigkeit ausgeglichen wurde.

Ko et al. (2015) berichteten vergleichbare Handgelenkstreckungen ohne signifikante Unterschiede für verschiedene Positionierungen eines 4" Smartphones (in Brusthöhe gehalten ($12,4^\circ$), nur mit der rechten Hand ($10,3^\circ$), auf Augenhöhe ($10,5^\circ$) und tief mit abgelegten Ellenbogen ($8,9^\circ$)). Da in keiner Positionierung die Handgelenke über 15° gestreckt wurden, sahen die Forscher grundsätzlich ein geringes Risiko für die Entwicklung eines Carpal-Tunnel-Syndroms infolge des Textens auf Smartphones. Die am Fingerstrecker⁷ abgeleitete Muskelaktivität ergab beim Halten in Brusthöhe 3,8 Prozent, nur rechtshändig 5,4 Prozent, auf Augenhöhe 4,3 Prozent und tief mit abgelegten Ellenbogen 3,3 Prozent MVC. Einen deutlichen Effekt der Smartphone

⁵ Ableitung Musculus flexor digitorum superficialis, neben der Fingerbeugung auch beteiligt an der Beugung des Handgelenks und des Ellenbogens

⁶ Ableitung Musculus abductor pollicis brevis, seitliche Abspreizung des Daumens, sowie Beugung im Daumengrundgelenk und Streckung im Daumenendgelenk

⁷ Musculus extensor digitorum, streckt den Finger 2-5 bis zum zweiten Fingerglied und ist an der Extension des Handgelenks beteiligt

Position fand sich für den Fingerbeuger ($r \geq 0,73$). Wurde das Telefon nur mit der rechten Hand gehalten, war der Muskel mit 6,9 Prozent MVC aktiver als in allen anderen Bedingungen (Brusthöhe 4,7 %, Augenhöhe 4,4 %, mit abgelegten Ellenbogen 4,3 %). Einen starken Effekt ($r \geq 0,85$) bewirkte das einhändige Texten mit einer Muskelaktivität von 9,5 Prozent MVC auf den Daumenbeuger⁸ im Vergleich zu den anderen (beidhändigen) Bedingungen (Brusthöhe 4,8 %, Augenhöhe 5,2 %, mit abgelegten Ellenbogen 6,1 %). Die Versuchspersonen texteten mit 78-99 Zeichen pro Minute, in den tieferen beidhändigen Bedingungen mit den höchsten Geschwindigkeiten. In der einhändigen Haltevariante wurden die wenigsten Zeichen pro Minute getextet, aber mit Hinblick auf die beidhändige Bedienung des Smartphones nicht doppelt so langsam. Die Autoren sahen darin ein erhöhtes Risiko für MSD des Daumens durch die häufigen Bewegungswiederholungen für eindaumiges Texten.

Zusätzlich zum beidhändigen im Vergleich zum einhändigen Texten erhoben Xie et al. (2015) auch die Aktivität verschiedener Hand- und Fingermuskeln während des Tippens auf einem Computerkeyboard. Das Tippen eines Textes auf einer Computertastatur ließ die höchste Aktivität im Handgelenkstrecker (10,09 %|9,20 % MVC⁹) und Fingerstrecker (3,92 %|4,00 % MVC) erkennen. Im Gegensatz zum Texten auf der virtuellen Tastatur des Smartphones wurde auf der Computertastatur im Zehn-Finger-System getippt. Dabei war das Heben von Handgelenk und Fingern gegen die Schwerkraft und mehr Druck notwendig. Beim Texten auf dem Smartphone ergab sich ein Unterschied von ein- zu beidhändig für den Fingerstrecker mit mittlerer Effektstärke ($r = 0,36$) mit einseitig Smartphone (Handgelenk: 3,37 %|3,66 %, Finger: 8,98 %|7,98 %) und beidseitig Smartphone am geringsten (Handgelenk: 2,02 %|2,44 %, Finger: 5,90 %|5,42 %). Auch im Fingerbeuger war die Muskelaktivität in der einhändigen Bedingung mit 3,07 Prozent bzw. 2,53 Prozent MVC ausgeprägter als in der zweihändigen mit 2,11 Prozent vs. 1,89 Prozent, wenn auch mit geringerer Effektstärke ($r = 0,19$). Die geringste Aktivität rief das Tippen auf der externen Tastatur hervor 1,79 Prozent vs. 1,35 Prozent. Im Gegensatz zum Tippen auf der Computertastatur fiel den Fingermuskeln beim Smartphone eher die Aufgabe des Haltens und Stabilisierens zu, die in der einhändigen Bedingung von einer Hand geleistet werden musste. Die geringste Muskelaktivität zeigte sich während des Tippens auf der externen Tastatur im kleinen Daumenabspreizer¹⁰ (0,85 %|0,76 %), der dort nur zum Auslösen der Leertaste eingesetzt wird. Das Texten auf dem Smartphone erfolgte dagegen ausschließlich über den/die Daumen. Das einhändig Texten (4,79 %|4,80 %) führte hier zu einer signifikant stärkeren Aktivierung ($r = 0,52$) und repetitiven Bewegung als das beidhändig Texten (1,93 %|2,03 %).

⁸ Musculus flexor pollicis brevis, führt zu einer Beugung im Grundgelenk sowie im Sattelgelenk und unterstützt die Oppositionsbewegung des Daumens zum kleinen Finger

⁹ In Bezug auf die Hand- und Fingermuskulatur gab es keine Unterschiede zwischen den unter 0 dargestellten zwei Untersuchungsgruppen. Bei den hier übernommenen Werten stehen die Ergebnisse für die Gruppe mit Beschwerden im Schulter-Nacken-Bereich vorn, die der beschwerdefreien Kontrollgruppe an zweiter Stelle.

¹⁰ Musculus abductor pollicis brevis spreizt den Daumen in Bezug zur Handfläche ab und unterstützt die Beugung des Daumens im Sattelgelenk sowie die Oppositionsbewegung über die Handfläche zum kleinen Finger.

Eine andere Aktivitätsableitung im Daumen ergab bei Lee, M. et al. (2015) für den langen Daumenstrecker¹¹ mit 21 Prozent MVC höhere Werte in der beidhändigen Bedienung als in der einhändigen mit 12 Prozent MVC (Effektstärke $r = 0,50$). Die Aktivierung des langen Daumenspreizers¹² ist mit 50 Prozent MVC während des beiddaumigen Textens mehr als doppelt so hoch (Effektstärke $r = 0,55$) als während des einhändigen (23 % MVC).

Gustafsson et al. (2010) berichteten unterschiedliche Daumenwinkel (eine kombinierte Messung von Sattel- und Grundgelenk) beim Texten in Abhängigkeit von der Gesamtkörperhaltung und der Vertrautheit mit dem Mobiltelefon. Texteten die Versuchspersonen im Sitzen auf dem eigenen Telefon, lag der seitliche Daumenwinkel mit $20,1^\circ$ signifikant über dem auf einem Fremdteléfono $14,8^\circ$. Stehendes Texten resultierte in der geringsten seitlichen Auslenkung des Daumens ($9,4^\circ$). Gleichzeitig war der Daumenwinkel für die Oppositionsstellung über die Handfläche im Stehen größer ($16,7^\circ$) als der im sitzenden Texten (Fremdteléfono $12,8^\circ$, eigenes $12,6^\circ$). Pro Sekunde wurde ca. elfmal zwischen Adduktion und Abduktion (seitliche Auslenkung) und achteinhalb mal zwischen Beugung und Streckung über die Handfläche gewechselt. Weitere Analysen der Daten (2011) zeigten eine Muskelaktivität während des sitzenden Textens im Daumen von 5,6 Prozent MVC im kleinen und 6,5 Prozent im langen Daumenspreizer. Eine hohe Tippgeschwindigkeit hatte erwartungsgemäß eine höhere Aktivität im Daumenmuskel (8,5 % zu 5,6 % MVC) zur Folge und Ein-Daumen-Texten ging mit einer höheren Durchschnittsgeschwindigkeit und weniger Bewegungspausen (5,5 vs. 7,5 pro Minute) einher. Damit resultierte eindaumiges Texten in mehr als doppelt so vielen Bewegungswiederholungen. Das Autorenteam sah in der hohen Wiederholungsrate der Bewegungen im Daumen ein Risiko für Muskel-Skelett-Beschwerden in Daumen und Unterarm. Im Fingerbeuger und -strecker wurden Aktivitäten von 4,7 Prozent bzw. 4,8 Prozent abgeleitet. Im Fingerstrecker zeigte sich beim einhändigen Greifen/Halten eine signifikant höhere Aktivität bei 5,7 Prozent MVC als in der beidhändigen Bedingung 3,6 Prozent. Auch bei hoher Tippgeschwindigkeit war dieser aktivierter (6,3 % vs. moderat 3,8 %). Dies führten Gustafsson et al. in beiden Fällen auf die Notwendigkeit erhöhter Stabilisierung des Telefons während des Tippens zurück. Frauen texteten mit signifikant höherer Muskelaktivität im langen Daumenstrecker (7,3 % vs. Männer 5,2 %, Effektstärke $r = 0,85$) sowie im Fingerstrecker (5,5 % vs. 3,5 %, Effektstärke $r = 0,93$). Als mögliche Ursache wurde die unterschiedliche Handgröße der getesteten Männer und Frauen angegeben: In kleineren Händen wurde sowohl das Telefon häufiger gekippt als auch der Daumen mehr gestreckt, um alle Tasten zu erreichen.

Lin und Peper (2009). fanden den kleinen Daumenbeuger und den Daumengegensteller¹³ nicht nur während des aktiven Textens im Vergleich zu einer nur-Halten-

¹¹ Musculus extensor pollicis longus bewirkt eine Streckung und seitliche Spreizung des Daumens bis zum Daumenendglied

¹² Musculus abductor pollicis longus spreizt den Daumen ab, bewirkt eine seitliche Beugung des Handgelenks in Richtung des Daumens und unterstützt die Auswärtsdrehung der Hand

¹³ Musculus opponens pollicis dreht den Daumen in Richtung der Handinnenfläche und stellt ihn so den restlichen Fingern gegenüber; unterstützt daneben das Heranziehen des Daumens neben die Hand

Baseline erhöht (prä 0,8 vs. 32,7), sondern auch wenn eine Nachricht empfangen wurde (prä 0,8 vs. 19,3).

In einer Usability-Studie zur Größe und Position virtueller Tasten auf 3,5" Touchscreen-Geräten fanden Park und Han (2010) neben der Performance u. a. auch die Haltung der Daumen in der Bedienung durch diese beiden Faktoren beeinflusst. Die Untersucher beobachteten, dass die Tasten umso steiler mit der Spitze des Daumens bedient wurden, je kleiner und weiter unten rechts diese angeordnet waren. Die Bedienung erfolgte insgesamt weniger zentriert mit der Mitte der Daumenspitze, sondern mehr mit dem oberen rechten Rand des Daumens.

Die Messung der Muskelaktivität in Abhängigkeit der Größe und der Position der zu bedienenden virtuellen Tasten auf dem Display zeigte bei Xiong und Muraki (2014) mehr Aktivität im kleinen Daumenabspreizer als im langen. Große Tasten im Vergleich zu kleinen führten ebenso wie Bewegungswechsel im Sattelgelenk (Heranziehen/Abspreizen im Kontrast zur Beugung und Streckung im oberen Daumen- und Daumengrundgelenk) zu höherer Muskelaktivität. Der Daumen wurde dabei flacher geführt und der Druck auf das Display war kraftvoller. Im Zeigefingermuskel¹⁴ war die Aktivität für kleine Tasten und während der Beuge- und Streckbewegung des Daumens größer. Um in diesen Bedingungen die vertikale Haltung des Daumens beizubehalten, musste das Smartphone in der Hand stärker stabilisiert werden, wobei dem Zeigefinger als „Hauptfesthalter“ eine wichtige Bedeutung zukam. Die parallel erhobenen Einschätzungen zur Muskelermüdung spiegelten die jeweiligen EMG Daten wider.

Otten et al. (2012) bestimmten den funktionalen Bereich des Daumens für (generische) 4" Mobile Devices. Sie ließen Heranwachsende und Erwachsene bis 43 Jahre auf dem einhändig gehaltenen Gerät eine seitliche Wischbewegung mit dem Daumen ausführen. Die bei geradem Daumen durchgeführte Bewegung ließ bei allen Versuchspersonen den Bereich unten rechts und oben links frei. Der abgedeckte Bereich war trotz kleinerer Hände bei den Heranwachsenden im Vergleich zu Erwachsenen größer und eher kreisförmig. Die Forscher beobachteten, dass die Heranwachsenden das Gerät lockerer in der Hand hielten und damit mehr Bewegungsspiel in den Daumengelenken hatten. Eine Positionierung für Bedienelemente entsprach dem mittels Wischbewegung identifizierten funktionalen Bereich.

Den Zusammenhang von Alter, Daumenlänge sowie Bildschirmgröße (3,5" vs. 5") und dem funktionalen Daumenbereich untersuchten Xiong und Muraki (2016). Die Versuchspersonen sollten die zwei längst- und kürzest möglichen Punkte bei einhändig rechts gehaltenem Smartphone mittels Tippbewegung anzeigen. Es zeigte sich gruppenunabhängig die gleiche Größe des abgedeckten Bereichs, wobei dieser je nach Gruppe auf dem Display verschoben war. Ältere und Personen mit längeren Daumen hatten einen größeren Anteil nicht erreichter Fläche rechts und unten auf dem Touchscreen. Ältere Versuchspersonen markierten die Entfernungen eher mit flachen Daumen, jüngere arbeiteten mehr mit der senkrecht gehaltenen Daumenspitze. Um einen möglichst großen Bereich abdecken zu können, kippten die Teilneh-

¹⁴ Musculus interosseus dorsalis I spreizt den Zeigefinger im Grundgelenk, streckt die Mittel- und Endgelenke und unterstützt die Beugung des Zeigefingers im Grundgelenk sowie das Heranziehen des Daumens

menden das Smartphone in der Hand hin und zurück. Für das kleine 3,5" Telefon waren sicheres Halten und Kippen unabhängig von der Handgröße möglich. In der 5" Variante waren größere Hände von Vorteil für das Umfassen und damit das kontrollierte Kippen des Telefons. Für Personen mit langen Daumen war die untere rechte Ecke nur mit senkrechtem Daumen und damit einhergehend großen Winkeln im oberen Daumen- und im Daumengrundgelenk zu erreichen.

Untersuchungsfokus bei Sharan et al. (2014) ebenso wie in den nachfolgenden klinischen Studien waren die Zusammenhänge zwischen häufigem Texten auf Mobiltelefonen bzw. Smartphones und Tendinopathien insbesondere im Bereich des Daumens. Sie analysierten post hoc 70 medizinische Gutachten von Personen im Alter von 5-56 Jahren (durchschnittliches Alter 34 Jahre), die zwischen 2005 und 2013 Muskel-Skelett-Beschwerden wie Schmerzen in Hand und Unterarm, Taubheit und Kribbeln im Bereich der Handsehne sowie Steifheit von Handgelenk und/oder Hand berichteten. Die Personen berichteten eine intensive Nutzung von „Mobile-Touch Devices“ (Mobiltelefone mit Tastatur, Blackberrys, Smartphones, Spielkontroller) in Form von Texten, Browsen und/oder Spielen von mindestens einer Stunde bis zu mehr als vier Stunden pro Tag. Alle 70 Fälle wurden mit Tendinosis im langen Daumenstreckers und myofacialem Schmerzsyndrom im Zeigefingermuskel und dem Fingerstrecker diagnostiziert. Zudem zeigte sich hier eine Co-Morbidität für ein myofaciales Schmerzsyndrom im Bereich des Nackens und des oberen Rückens in 70 Prozent der Fälle sowie ein Schultergürtel-Kompressionssyndrom bei 49 Prozent der behandelten Patienten.

Gold et al. (2014) untersuchten in einer Pilotstudie das Blutserum von zehn Teilnehmerinnen ohne starke muskulo-skelettale Beschwerden und bereits diagnostizierte Störungen der Hand oder des Handgelenks auf Biomarker für Entzündungen sowie die Daumensehnen mittels MRI. Verglichen wurden Gruppenunterschiede zwischen fünf Vieltexterinnen mit mehr als 230 gesendeten Textnachrichten pro Tag und fünf Wenigtexterinnen mit 25 oder weniger gesendeten Textnachrichten pro Tag auf einem zum Texten geeigneten mobilen Endgerät. Die Untersucher fanden höhere Entzündungsmarker bei Vieltexterinnen. Allerdings wurden auch bei wenig Textenden Entzündungsreaktionen festgestellt. Weiterhin zeigte sich höhere Tendenz für Sehnenentzündungen durch MRI-Befund für Vieltextende (auf Grund der geringen Fallzahl nicht signifikant). Die Autoren sehen im Vieltexten einen Risikofaktor für Sehnenentzündungen im Daumen.

Klare Zusammenhänge zwischen Texten auf Mobiltelefonen und Smartphones und Tendinopathien im Daumen finden sich bei Ali et al. (2014). Untersucht wurden 300 Studierende (80 Prozent weiblich) auf subjektive Beschwerden in den Daumen und Handgelenken sowie klinische Symptome für Tendovaginitis stenosans de Quervain. Hierbei handelte es sich um eine unspezifische Entzündung einer oder mehrerer Daumensehnen im Bereich des Handgelenks. Insgesamt wurden fast 50 Prozent positiv auf de Quervain getestet. Die Prävalenz in der Gesamtbevölkerung lag bei 0,5-1,3 Prozent. Die Teilnehmenden wurden weiterhin anhand der gesendeten Textnachrichten pro Tag in vier Gruppen unterteilt. 44 Prozent sendeten weniger als 50 Nachrichten pro Tag, 32 Prozent verschickten 50-100 Nachrichten, 15 Prozent lagen bei 100-200 Texten und 9 Prozent übermittelten mehr als 200 Nachrichten pro Tag. Die Autoren fanden einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Häufigkeit des Textens und einem positiven Test auf Sehnencheidenentzündungen im Daumen. Gegenüber der Gruppe mit weniger als 50 Textnachrichten pro Tag als Baseline lag

das relative Risiko auf eine positive Testung in der Gruppe mit 50-100 Texten 4,6 mal höher und für die beiden weiteren Gruppen 6,2 bzw. 6,7 mal so hoch (eigene Rechnung anhand der angegebenen Rohdaten). Dies entspricht für alle Gruppen gegenüber der Baseline mit $r = 0,76$, $r = 0,92$ bzw. $r = 0,97$ einer hohen Effektstärke nach Cohen.

Inal et al. (2015) untersuchten Gruppenunterschiede zwischen insgesamt 102 viel, wenig und gar nicht Smartphone-Nutzenden hinsichtlich der Daumensehnen. Die Nicht-Nutzenden besaßen kein Smartphone, die Einteilung in geringe und hohe Nutzung erfolgte basierend auf den Ergebnissen der Smartphone Addiction Scale. In keiner der Gruppen ergaben die Ultraschalluntersuchungen Fälle von bereits vorhandener Tendinosis. Gleichwohl zeigten sich in allen Gruppen in der dominanten (hier gleichbedeutend mit textender) im Vergleich zur nicht-dominanten Hand ein verdickter Sehnenansatz des untersuchten Daumenmuskels (Beugung des Daumens im oberen und Grundgelenk) sowie des Mediannervs¹⁵. Diese Unterschiede waren bei Viel-Nutzenden signifikant stärker ausgeprägt. Die Autoren fanden signifikante Zusammenhänge mittlerer Effektstärke zwischen der Nutzungsdauer und dem Unterschied der Daumensehnen ($r = 0,32$, $p < 0,001$) und des Mediannervs ($r = 0,30$, $p < 0,01$). Insbesondere in den Veränderungen des Mediannervs sahen die Autoren ein Risiko für die Entwicklung eines Karpaltunnelsyndroms.

Umgekehrt untersuchten Eapen et al. (2014) Unterschiede zwischen 98 Personen mit RSI-Syndrom im Daumen und einer parallelisierten Kontrollgruppe hinsichtlich gesendeter Textnachrichten und klinischen Befunden. Die Beschwerde-Freien berichteten mit durchschnittlich 15 Textnachrichten pro Tag deutlich weniger als die Versuchspersonen mit Beschwerden mit einem Mittel von 55 gesendeten Nachrichten. Die Ultraschallbefunde ergaben für 19 Prozent der Personen mit Beschwerden Hinweise auf Entzündungen der Daumensehnen. In der Kontrollgruppe gab es keinen positiven Ultraschallbefund. Dies entspricht einer mittleren bis hohen Effektstärke ($r = 0,39$).

3.2.2 Tablet-PCs

In der bereits unter 3.1.2 berichteten Nicht-Interventionsstudie zum Einfluss der Nutzung von Tablet-PCs im Büroalltag beobachteten Stawarz und Benedyk (2013) eine frei schwebende Haltung der Handgelenke und Finger über der Tastatur. Diese Haltung wurde während Tippienpausen beibehalten, um versehentliches Bedienen des Touchscreens zu vermeiden. Dadurch entfielen auch während der Tippienpausen die Ruhephasen für die Handmuskulatur. Unabhängig von der (Nicht-)Nutzung und Positionierung eines Aufstellers wurden die Tablets mehrheitlich mit deutlich überstreckten Handgelenken bedient. Zudem wurde für die, im Vergleich mit einer Standardtastatur eher enge, virtuelle Tastatur eine radiale Verschiebungen der Handgelenke verzeichnet.

Effekte der Aufgabe und Positionierung eines 10" Tablets auf das Hand-Finger-System berichteten Young et al. (2013). Unabhängig davon, ob das Browsen auf

¹⁵ Der Nervus medianus verläuft durch den Karpaltunnel auf die Handinnenfläche und innerviert u. a. Teile der Muskulatur des Daumenballens (Thenarmuskulatur) und zwei der kurzen Muskeln der Mittelhand.

dem Tablet mit einer Hand oder mit beiden Händen erfolgte, waren die Handgelenke mit 25° überstreckt. Der Vergleich der Positionierung auf dem Schoß zu der Ablage auf einem Tisch zeigte stärkere Überstreckung der Handgelenke bei der Schoßhaltung, aufgabenabhängig stärker beim Texten (35° vs. 25°, Effektstärke $r=0,43$) als während des Browsens (30° vs. 23°, Effektstärke $r=0,28$). Die dominante Hand war in allen Bedingungen über 27° gestreckt. Seitlich wurden die Handgelenke beim Browsen in der einhändigen Bedingung um 6° in Richtung des Daumens gebeugt. In der beidhändigen Bedingung waren die Handgelenke bei gleicher Aufgabe in einer neutralen, geraden Position ($r=0,42$). In allen anderen Bedingungen wurden die Handgelenke in Richtung des kleinen Fingers geknickt, tendenziell stärker beim Texten und ausgeprägter in der Tisch-Bedingung (-4°) gegenüber der Schoßbedingung (-7°). Ebenso wurde aufgaben- und positionsabhängig unterschiedliche Aktivierung von Handgelenk- und Fingerstrecker abgeleitet. Wurde das Tablet in der Hand gehalten, war die Muskelaktivität beim einhändigen Browsen mit 3,3 Prozent mehr als doppelt so hoch wie in der beidhändigen Variante mit 1,5 Prozent (Effektstärke $r=0,83$). Bei abgelegtem Tablet zeigten sich aufgabenspezifische Unterschiede hoher Effektstärke ($r \geq 0,97$). Die höchste Muskelaktivität wurde während des Textens (Schoß: 9,5 %, Tisch: 9,0 %) im Vergleich zum Browsen (Schoß: 4,9 %, Tisch 3,4 %) gemessen. Im ellen- wie auch im speichenseitigen Handgelenkbeuger wurden unabhängig von der Positionierung oder Aufgabe kaum Muskelaktivitäten gemessen. In der Abweichung von einer neutralen Stellung des Handgelenks und der gezeigten Bewegungsgeschwindigkeit sahen Young et al. ein erhöhtes Risiko für hohen Druck auf den Karpaltunnel. Zudem wiesen die Autoren mit Blick auf den von den Versuchspersonen angestrebten optimalen Sehwinkel auf den Konflikt zwischen einem neutralen Kopf/Nackenwinkel und einem optimalen Tippwinkel für die Handgelenke hin. Mit einer externen Keyboarderweiterung wäre beides einfacher zu optimieren. Damit würde jedoch gleichzeitig die Mobilität des Tablets eingeschränkt.

Trudeau et al. (2013) untersuchten die Auswirkungen des virtuellen Keyboards auf drei Höhen im Display und als Standard- oder geteiltes Keyboard. Das Tablet lag während des Textens bei eingedrehtem Unterarm auf den Handflächen. Durchschnittlich wurde über alle Bedingungen eine Streckung im Handgelenk von 13° gemessen. Dabei wurde das Handgelenk mit dem Standardtastatur-Layout mit 16° signifikant stärker überstreckt als bei geteilter Tastatur mit 11° (Effektstärke, $r=0,53$). In allen Bedingungen wurde das Tablet mit (hinter dem Tablet) einander zugewandten Fingerspitzen gehalten. Dies bewirkte ein Abknicken der Handgelenke zum kleinen Finger von 14° in der Portrait-Orientierung des Tablets und 16° in der horizontalen Ausrichtung (Effektstärke, $r=0,45$). Mit einem Standardtastatur-Layout war diese seitliche Abweichung von 20° sehr viel ausgeprägter als bei geteilter Tastatur mit 10° ($r=0,93$). Letztere benötigte weniger Daumenreichweite, um das gesamte Keyboard abzudecken und damit auch weniger Handgelenkveränderung. Weiterhin zeigte sich ein starker Effekt der Anordnung der Tastatur auf dem Display (unten 11° vs. mittig 16° und oben 18°, $r \geq 0,78$). War die Tastatur unten auf dem Tablet angeordnet, hielten die Versuchspersonen das Tablet nur an den Kanten, um Tasten zu erreichen. Da die Hand so außerhalb des Tablet-Schwerpunktes lag, wurde der Unterarm stärker eingedreht, um das Tablet zu stützen. Die Daumen wurden unabhängig von der Tablet Ausrichtung und Art der virtuellen Tastatur in einem Winkel von durchschnittlich 7° vor die Handfläche geklappt. Je weiter oben die Tastatur auf dem Tablet angeordnet war, desto stärker wurden die Daumen vor die Handfläche gebeugt (oben 10° vs. mittig 8° vs. unten 5°). Seitlich von der Hand (im Sattelgelenk) wurden die

Daumen um 10° abgespreizt, mit geteilter Tastatur (9°) weniger als mit der Standardtastatur (11° , $r = 0,45$). Entgegengesetzt zur Beugung über die Handfläche war der gemessene seitliche Daumenwinkel am größten, wenn die Tastatur unten auf dem Display angeordnet war (oben/mittig 9° vs. unten 12° , $r = 0,6$). Mit 40° war das obere Daumengelenk in Portraitausrichtung stärker angewinkelt als mit horizontaler Tablet Ausrichtung 32° ($r = 0,66$). Eine geteilte Tastatur resultierte in einem wesentlich größeren Gelenkwinkel (44°) als das Standardlayout (28° , $r = 0,87$). In dieser „Klauen-Position“ der Daumen vermuteten die Autoren einen Versuch, eine (Teil-) Überdeckung der Tastatur zu vermeiden.

Steigende Handgelenkstreckungen in Abhängigkeit zur Device-Größe (beidhändiges Texten) bemerkten Kietrys et al. (2015). Waren die Handgelenke der Versuchspersonen unter Benutzung eines $3,5''$ Smartphones um $14,6^\circ$ überstreckt, steigerte sich diese Extension zum $7''$ Minitablet auf $24,4^\circ$ und um weitere 5° auf $29,6^\circ$ beim $10''$ Tablet (Effektstärke $3,5''$ zu $7''$ $r = 0,37$ und $7''$ zu $10''$ $r = 0,22$). Parallel erhöhte sich auch der seitliche Winkel im Handgelenk in Richtung des kleinen Fingers. In der Smartphone Bedingung wurden die Handgelenke in einer neutralen Haltung in Verlängerung zum Unterarm gehalten ($-0,2^\circ$). In beiden Tablet Bedingungen wurden dagegen die Handgelenke nach außen abgeknickt – in der $10''$ Tablet Bedingung mit $14,7^\circ$ signifikant stärker als in Interaktion mit dem Minitablet von 9° (Effektstärke $3,5''$ zu $7''$ $r = 0,75$ und $7''$ zu $10''$ $r = 0,50$). Damit übereinstimmend induzierten die Tablet Bedingungen mit 5,2 Prozent beim Minitablet und 9,7 Prozent beim Tablet stärkere Muskelaktivität im Handgelenkstrecker als das Smartphone mit 3,0 Prozent MVC (Effektstärke $3,5''$ zu $7''$ $r = 0,38$ und $7''$ zu $10''$ $r = 0,35$). Auch im Fingerbeuger zeigte sich mit steigender Gerätegröße steigende Muskelaktivität, mit einem deutlichen Effektsprung (Effektstärke $3,5''$ zu $7''$ $r = 0,17$ und $7''$ zu $10''$ $r = 0,46$) vom Minitablet (8,3 Prozent) zum Tablet (19,4 Prozent). Kietrys et al. sahen dafür zwei Faktoren verantwortlich: mit steigender Displaygröße nahm auch das Gewicht der Geräte zu, das durch die Handgelenke und den Fingerbeuger gehalten und stabilisiert werden musste. Gleichzeitig wurden insbesondere die $10''$ Geräte auch häufiger im Schoß abgelegt (vgl. 3.1.2). In dieser Stellung konnten neben dem Daumen auch weitere Finger zum Tippen auf der Tastatur eingesetzt werden – einhergehend mit einer stärkeren Aktivität im Fingerbeuger. In gleicher Weise stieg auch die Muskelaktivität im kurzen Daumenspreizer. Lag diese mit Smartphone Nutzung auf 8,9 Prozent MVC, stieg die Aktivität mit starker Effektstärke ($r = 0,61$) zum Minitablet auf 21,9 Prozent. Zwischen Minitablet und Tablet stieg die Aktivität noch einmal auf 26,2 Prozent MVC, allerdings mit geringer Effektstärke ($r = 0,27$). Diesen Effekt führten die Autoren auf den in den Tablet Bedingungen deutlich größeren genutzten Daumenradius zurück.

Pereira et al. (2013) erhoben ebenfalls die Effekte verschiedener Tabletgrößen. Wie auch Kietrys et al. setzten sie hierzu $10''$ Tablet und $7''$ Minitablet ein. Die kleinste Gerätegröße war hier jedoch mit $5,3''$ eine Größe, die deutlich über der des $3,5''$ Smartphones lag. Für alle Geräte wurde die rechte (Außen-)Seite gegenüber der linken (gehaltenen) mit 10° tiefer gemessen. In der haltenden Hand verursachten steigende Gerätegrößen auch eine stärkere Streckung des Handgelenks ($5,3''$ Phablet: $12,7^\circ$, Minitablet: $19,3^\circ$, Tablet: $21,6^\circ$). Gleichzeitig wurde das Handgelenk beim Tablet mit $17,0^\circ$ tendenziell weniger in Richtung des kleinen Fingers abgeknickt als beim Halten des Minitablets $7''$ mit $27,2^\circ$, oder des Phablets mit $28,7^\circ$. Und auch der Unterarm war auf der haltenden Seite in der Tablet-Bedingung tendenziell weniger ein-

gedreht ($15,6^\circ$) als mit den beiden anderen Gerätegrößen ($17,3^\circ$). Finger- und Handgelenkstrecker der Haltehand zeigten größenunabhängig Muskelaktivitäten zwischen 6,1 Prozent und 9,3 Prozent MVC (Finger) bzw. 12,2 Prozent und 9,8 Prozent MVC (Handgelenk). Dagegen ging eine steigende Tabletgröße mit höheren Muskelaktivitäten im Handgelenk- und Fingerbeuger einher. Der speichenseitige Handbeuger wies Muskelaktivitäten von 15,9 Prozent für das Tablet, 11,7 Prozent für das Minitablet und 7,9 Prozent beim Halten des Phablets auf (Effektstärke Tablet zu Phablet, $r = 0,32$). Die gemessenen Aktivitäten im Fingerbeuger zeigten Unterschiede etwas geringerer Effektstärke (Tablet zu Phablet $r = 0,24$) mit 16,9 Prozent (Tablet), 12,8 Prozent (Minitablet) und 10,6 Prozent (Phablet). Bedingt durch das höhere Gewicht und einem Schwerpunkt der bedingt durch die Größe weiter von der Hand entfernt lag, wurde das Tablet fester gegriffen. Gleichzeitig wurde das Handgelenk stärker extensiert und nach außen gekippt. Insbesondere für Aufgaben, die langes Halten erforderten, merkte das Autorenteam daher für die 10" Tablets ein erhöhtes Risiko für Muskel-Skelett-Beschwerden an. Damit im Einklang zeigten sich in den subjektiven Einschätzungen der Versuchspersonen vor allem Abweichungen in den Bewertungen des Tablets. So gaben die Versuchspersonen für das Phablet und Minitablet eine höhere Haltesicherheit an (Effektstärke, $r = 0,50$) und weniger Ermüdung im Unterarm (Effektstärke, $r = 0,47$) und in der Hand (Effektstärke, $r = 0,39$). Auch gaben sie mit einer möglichen Haltedauer von 26 bzw. 36 Minuten gegenüber 15 Minuten höhere Schätzungen für das Phablet und das Minitablet an.

Plegge und Alexander (2015) fanden unabhängig vom variierten Tabletschwerpunkt geringe Aktivitäten für die Handstrecker (2,3 %-4,9 % MVC), Handbeuger (2,9 %-4,5 % MVC) ebenso wie die Fingerstrecker (2,8 %-3,4 % MVC). Dabei berichteten die Versuchspersonen im Verlauf der Halteaufgabe von zunehmender Anstrengung das Tablet in Position zu halten, insbesondere im Zusammenhang mit einer Schwerpunktverschiebung nach rechts.

Sambrooks und Wilkinson (2015) erhoben Präferenzen und subjektive Einschätzungen der Ermüdung für drei Gerätegrößen (Smartphone 4,7", Minitablet 7", Tablet 10") in Kombination mit verschiedenen Minispiel-Applikationen. In der Präferenz für einen Gerätetyp zeigte sich eine starke Aufgabenabhängigkeit. Musste das Gerät z. B. einhändig auf bzw. über Augenhöhe (= 177 cm) gehalten werden, wurde das Smartphone vor Minitablet vor dem Tablet bevorzugt. Bestand dagegen die Aufgabe in der Navigation eines Quadrates durch ein „Fingerlabyrinth“ war die sichtbare Bildschirmfläche ausschlaggebend und das Smartphone wurde an letzter Stelle positioniert. Aufgabenunabhängig führte das 10" Tablet zu stärkerer Ermüdung als das Minitablet, das Smartphone zur geringsten. Entsprechend änderte sich die dem Gewicht zugeschriebene Bedeutung. Bedingt durch die Art der Aufgabenkonzeption wurden die Devices länger frei gehalten. Dadurch kam dem Halten mehr Bedeutung zu, als vor dem Experiment durch die Versuchspersonen geschätzt wurde.

Folgen verschiedener Tablet-Haltebedingungen (Tisch, Klemmbrett, flache Hand, Daumen seitlich vorn und Hand dahinter) auf die Interaktions-Performance der anderen Hand (Bewegungsgeschwindigkeit und Varianz der Geschwindigkeit einer Schiebewegung) untersuchten Yongbunthanaphat und Ladavichitkul (2014). Wurde das Tablet auf der Handfläche liegend, seitlich mit dem Daumen abgestützt gehalten, ergaben sich die höchsten Geschwindigkeiten und die geringste Varianz in der Interaktion mit der anderen Hand.

Auswirkungen verschiedener Multitouch-Gesten auf die Hand- und Fingermuskeln zeigten Lozano et al. (2011). Während Ein-Finger-Wischbewegungen im Handgelenksstrecker zu einer Muskelaktivität von ca. 8 Prozent MVC führten, aktivierten Zwei-Finger-Bewegungen von Daumen und Zeigefinger (Rotation umeinander, Pinzettenbewegungen) den Strecker im Handgelenk auf ca. 15 Prozent MVC. Die höchste Aktivierung bewirkte eine Rotation nach rechts (16,1 %), das Wischen mit dem Zeigefinger nach unten die niedrigste (8,5 %). Die Autoren strichen heraus, dass alle Bewegungen zu höheren Muskelaktivitäten führten als die Maximalaktivität mit einer Computer-Maus. Die Bewegungsamplitude im unteren Zeigefingergelenk war mit bis zu 40° am höchsten für Zoom-Bewegungen (= Daumen und Zeigefinger). Das Wischen zu den Seiten zeigte die geringsten Auslenkungen mit jeweils 5° Bewegungsamplitude.

Hoggan et al. (2013a und 2013b) maßen die Bewegungsdauer sowie den Anteil fehlerhafter Durchläufe für verschiedene Multitouch-Gesten. Die durchschnittliche Gestenzeit für Zoom-Gesten lag bei 2,6 Sekunden. Größere Gesten brauchten länger zur Durchführung und waren fehleranfälliger. Auch die Bewegungsrichtung hatte einen Einfluss. So dauerte z. B. das Aufspreizen von Daumen und Zeigefinger (Aufzoomen) länger und war mit mehr Kontaktverlusten verknüpft als das Zusammenführen der Finger. Rotationsbewegungen speziell für 120° Drehung im Uhrzeigersinn waren langsamer und fehleranfälliger.

Parameter, die den funktionalen Bereich des Daumens auf einem 7" Minitablet modifizieren, untersuchten Bergstrom-Lehtovirta und Oulasvirta (2014). Die mit dem Daumen durch eine Wischbewegung erreichbaren Displaybereiche wurden neben der Fingerspanne zwischen Daumen und Zeigefinger beeinflusst durch die Stärke der Krümmung des haltenden Zeigefingers hinter dem Gerät und inwieweit die haltende Hand gerade oder seitlich geknickt war. Weitere Parameter waren die Dicke des Devices sowie der Lage des Daumensattelgelenks zur Gerätekante. Die Funktion der gestreckten Bewegung blieb gleich und verschob sich in Abhängigkeit der Parameter auf dem Device. Entsprechend des Modells musste zur Interaktion mit der unteren rechten Ecke des Touchscreens entweder das Gerät in der Hand verschoben und damit ein unsicherer Griff in Kauf genommen werden oder der Daumen stark abgelenkt werden. Zum Erreichen des oberen linken Bereichs musste alternativ der Daumen sehr stark gestreckt werden oder das Gerät durch stärkeres Abknicken des Handgelenks in der Hand gedreht werden. Je nach Displaygröße blieben, so die Autoren, die größten Entfernungen trotzdem nicht erreichbar.

3.2.3 Weitere und unspezifizierte Smart Devices

Die per Selbsteinschätzung in einer Fragebogenerhebung von Berolo et al. (2011) angegebenen häufigsten Schmerzen im Zusammenhang mit der Nutzung verschiedener Mobile Devices lagen mit 46 Prozent in der rechten Hand und hier vor allem in der Daumenbasis (gesamt: 27,8 %: 17,1 % leichte Schmerzen, 8,6 % moderate, 2,1 % starke Schmerzen). In der Daumenbasis der linken Hand berichteten 20 Prozent der 140 Teilnehmenden Schmerzen (15,0 % leicht, 4,3 % moderat, 0,7 % stark). Schmerzen in Ellenbogen und Unterarm gaben rechts 32,1 Prozent und links 27,1 Prozent der Befragten an. Speziell Schmerzen in der rechten Daumenbasis waren assoziiert mit der zeitlichen Nutzung der Mobile Devices. Exponierte mit einer Nutzungsdauer von 143 Minuten und mehr pro Tag hatten eine deutlich höhere

Chance (OR= 3,59), dort mittlere bis starke Schmerzen zu berichten als Personen die eine geringere Nutzungsdauer berichteten.

3.2.4 Bewertung der Beanspruchung im Unterarm und der Hand

Gold et al. (2012) sahen in den von ihnen beobachteten nicht-neutralen Handgelenken einen Risikofaktor für Beschwerden im Hand-Arm-Bereich und dem Karpal-Tunnel-Syndrom. Allerdings wurden hier das Ausmaß der beobachteten Abweichung sowie die Richtung (Überstrecken/Beugen und/oder seitliches Abknicken nach außen oder innen) nicht näher angegeben. Für die Tablet-Bedienung beobachteten Stawarz und Benedyk (2013) eine frei schwebende Haltung der Handgelenke und Finger über der Tastatur, auch während der Tipp-pausen. Weiterhin wurden deutlich überstreckte und (bedingt durch die eher enge, virtuelle Tastatur) seitlich gebeugte Handgelenke verzeichnet.

Für eine Bewertung spezifischerer Angaben aus den im Weiteren aufgeführten Untersuchungen stehen verschiedene Bewertungsverfahren zur Verfügung. Im BGIA-Report von 2007 zu Muskel-Skelett-Erkrankungen der oberen Extremitäten wird in Anlehnung an Drury (1987) eine Handgelenkstreckung über 25° sowie eine Handgelenkbeugung ab 20° als stärker belastend bewertet. Seitliche Auslenkungen von bis zu 10° auf beiden Seiten liegen innerhalb des neutralen Bewegungsumfangs. Darüber hinausgehende werden ebenfalls als stärker belastend eingestuft. Eine Drehung der Hand im Verhältnis zum Unterarm nach unten ab 20° und mit nach oben gerichteter Handfläche ab 30° wird weiterhin als Belastung angesehen. Das häufig in der Praxis eingesetzte Rapid Upper Limb Assessment (RULA vgl. 3.1.4) vergibt bereits für Handgelenkbeugungen und -streckungen über 15° höhere Belastungswerte. Für seitliche Auslenkungen (sobald diese von außen beobachtbar sind) wird unabhängig ihrer Höhe ein weiterer Belastungspunkt vergeben. In der Modifikation durch Lueder (1996) speziell für Computernutzer (mRula) werden darüber hinaus erhöhte Belastungswerte vergeben, wenn mit über der Tastatur schwebendem Handgelenk getippt wird. Wird in dieser Haltung das Handgelenk über 15° gebeugt, wird noch ein weiterer Belastungspunkt vergeben. Ein stark in Bezug zum Unterarm gedrehtes Handgelenk (ohne Winkelangabe) erhält zwei weitere Belastungspunkte. Einen Überblick zu den Ergebnissen im Vergleich mit den oben genannten Bewertungsverfahren bietet Tab. 3.4.

Nur zwei Forschergruppen gaben in ihren Darstellungen Handgelenkwinkel während der Nutzung von Smartphones an. Sowohl bei Kietrys et al. mit einem 3,5" Smartphone als auch bei Ko et al. mit einem 4" großen lag die Streckung des Handgelenks unter 15° und die seitliche Auslenkung unter 10°. Dagegen fanden Pereira et al. bereits für die kleinste Tabletgröße mit 5,3" mehr als 15°, jedoch unter 25° Streckung im Handgelenk. Die seitliche Auslenkung in Richtung des kleinen Fingers speziell für das 5,3" Device wurde mit einem Winkel von mehr als 25° angegeben. Damit ist insbesondere das Abknicken der Hände nach außen als grenzwertig zu beurteilen. Größere Tablets ab 7" Touchscreen-Diagonale wurden nur in einer Studie (Trudeau et al. 2013) mit Handgelenken unter 15° Streckung gemessen. Drei weitere Forschergruppen (Kietrys et al. 2015, Young et al. 2013, Pereira et al. 2013) berichteten aufgabenabhängig Streckungen von mindestens 15° bis mehr als 25°. Die größten Winkel wurden während des Textens auf dem Tablet beobachtet.

Tab. 3.4 Interventionsstudien zu Gelenkstellungen in Unterarm und Hand

Quelle	Device und Haltung	Winkel Daumen/ Zeigefinger (Device Interaktion)	Winkel Handgelenk, Ellenbogen (Device Halten)
Gustafsson et al. 2010	Mobilphone, physische Tasten sitzend und stehend	Radialabduktion je nach Bedingung < 17° bzw. > 17° Flexion Palmar je nach Bedingung < 14° bzw. > 14°	
Gustafsson et al. 2011	Mobilphone, physische Tasten sitzend	Radialabduktion < 17° Flexion Palmar < 14°	
Kietrys et al. 2015	Mobilphone, physische Tasten, Smartphone sitzend		Handgelenk Extension < 15° Ulnaradduktion < 10°
Ko et al. 2015	Smartphone		Handgelenk Extension < 15° Ellenbogen je nach Bedingung > 36° bis > 90°
Kietrys et al. 2015	Tablet sitzend		Handgelenk Extension > 25° Ulnaradduktion > 10°
Lozano et al. 2011	Tablet sitzend	Gesten Zeigefinger Bewegungsamplitude > 5° bis 40°	
Trudeau et al. 2013	Tablet sitzend	Texten oberes Daumengelenk Flexion je nach Bedingung > 20° bis > 40° Daumengrundgelenk bzw. -sattelgelenk Radial < 17° Flexion Palmar je nach Bedingung ≥14°	Handgelenk Extension < 25° Ulnaradduktion > 10°
Young et al. 2013	Tablet sitzend		Handgelenk Extension > 15° bis > 25° Radialabduktion < 10°

Quelle	Device und Haltung	Winkel Daumen/ Zeigefinger (Device Interaktion)	Winkel Handgelenk, Ellenbogen (Device Halten)
Pereira et al. 2013	Tablet stehend		Handgelenk Extension > 15°/< 25° Ulnaradduktion je nach Bedingung > 10° bis > 25° Supination < 30°

Angaben hinsichtlich einer seitlichen Auslenkung der Handgelenke während der Tablet Nutzung waren eher uneinheitlich. So gaben Pereira et al. (2013) für die beiden kleineren getesteten Tabletvarianten Winkel in Richtung des kleinen Fingers von mehr als 25° in der (nur) haltenden Hand an. Das Halten des 10" Gerätes führte zu einer Auslenkung von 17°. Ähnliche Winkel über 10° jedoch unter 25° für ein 10" Gerät fanden sich in der Erhebung von Trudeau et al. (2013). Kietrys et al. (2015) schilderten einen gegenläufigen Effekt mit einer stärkeren Abweichung mit steigender Tabletgröße von 22° auf 26°, wenn die Art des Haltens und Tippens selbstgewählt wurde. Dagegen berichteten Young et al. (2013) bei abgelegtem Tablet unter beidhändiger Nutzung Winkel unter 10° zum kleinen Finger. Wurde das Tablet dagegen wie in der Studie von Pereira et al. einhändig gehalten, waren die Handgelenke weniger als 10° in Richtung des Daumens gebogen.

Die seitliche Auslenkung wird demnach stärker als das Strecken des Handgelenks durch die Interaktion mit dem Tablet bestimmt, wobei auch hier die Handstellung mehrheitlich außerhalb neutraler Winkel liegt.

Auf Grund virtueller Bedienfelder und der Interaktion mit den gleichzeitig gehaltenen Geräten zeigen sich im Vergleich zu einer Eingabe über physische Tastatur und Maus etc. Änderungen im Tipp- und Bedienungsverhalten für Smart Devices. Hier kommt insbesondere den Daumen eine (sehr) aktive Rolle zu, für die nicht alle Bereiche des Displays gleich gut zu bedienen sind.

In der Untersuchung von Otten et al. (2012) zur Bestimmung des funktionalen Bereichs des Daumens ließen alle Versuchspersonen die Eckbereiche des 4" Gerätes unten rechts und oben links frei. Heranwachsende hielten das Gerät lockerer in der Hand und erreichten so mehr Spiel in den Daumengelenken. Für 3,5" Touchscreen-Geräte beobachteten Park und Han (2010), dass je kleiner und weiter rechts-unten die Tasten angeordnet waren, desto steiler diese mit der Spitze des Daumens bedient wurden. Dies bestätigt die Studie von Xiong und Muraki (2016) zum Zusammenhang von Alter, Daumenlänge sowie Bildschirmgröße (3,5" vs. 5"). Für Personen mit langen Daumen war die untere rechte Ecke nur mit senkrechtem Daumen und damit einhergehend großen Winkeln im oberen Daumen- und im Daumengrundgelenk zu erreichen. Jüngere Versuchspersonen arbeiteten insgesamt mehr mit senkrecht gehaltener Daumenspitze. Wie die Heranwachsenden in der Erhebung von Park und Han kippten auch hier die Teilnehmenden das Smartphone in der Hand hin und zurück. Für das 5" Device gelang dieses kontrollierte Kippen eher mit großen Händen. Personen mit kleineren Händen zeigten hier stärkere Streckung des Dau-

mens im Bereich der maximalen Reichweite. Für größere Geräte zeigten sich vergleichbare Effekte in der Untersuchung von Bergstrom-Lehtovirta und Oulasvirta (2014). Abhängig von Größe und Dicke des Gerätes musste dieses zur Interaktion mit der unteren rechten Ecke entweder in der Hand verschoben oder der Daumen stark abgelenkt werden. Je nach Displaygröße wurde der obere linke Bereich des Touchscreens nur mit sehr stark gestrecktem Daumen und/oder in der Hand gedrehtem Gerät unter Abknicken des Handgelenks erreicht. Mit der veränderten Bedienweise einhergehend fanden Berolo et al. (2011) mittlere bis starke Schmerzen, insbesondere in der rechten Daumenbasis assoziiert mit der zeitlichen Nutzung der Mobile Devices.

Tab. 3.5 Reichweite der Daumengelenkwinkel

Daumengelenk	Bewegung	maximal Reichweite	mittlere Exposition	hohe Exposition
oberes Gelenk	Beugung-Streckung	80°-12°	20°-3°	40°-6°
Grundgelenk	Beugung-Streckung	55°-10°	14°-2,5°	28°-5°
Sattelgelenk	seitliches Abspreizen-Ziehen zum Zeigefinger	70°-10°	17°-2,5°	33°-5°
Sattelgelenk	Abspreizen von der Handfläche-Streckung hinter den Handrücken	65°-30°	17°-8°	35°-15°

Für die beobachteten Daumenwinkel liegen bislang keine Bewertungskriterien vor. Eine Einschätzung erfolgt im Folgenden in Anlehnung an Drury (1987). Dort wird für andere Gelenkwinkel eine mittelstarke Exposition bei 25-49,9 Prozent des möglichen Bewegungsranges festgelegt. Eine hohe Exposition liegt vor, wenn der gemessene Wert 50 Prozent und mehr des Bewegungsranges des spezifischen Gelenks überschreitet. Nach Angaben zu durchschnittlichen Gelenkspannen in den Daumengelenken von Barakat et al. (2013) ergeben sich so die in Tab. 3.5 wiedergegebenen Werte. Da die Reichweiten für die Oppositionsbewegung über die Handfläche zum kleinen Finger durch Barakat et al. mit einer anderen Methode gemessen wurden, fehlen hierzu abgeleitete Expositionsangaben der Winkel.

Gustafsson et al. (2010) berichteten für „Fremdtelefone“ seitliche Daumenwinkel im Stehen und Sitzen unter 17°. Im Sitzen wurden eigene Telefone lockerer mit seitlichen Daumenwinkeln von über 17° gehalten. Pro Sekunde wurde ca. elfmal zwischen einem Abspreizen und Anziehen des Daumens gewechselt. Während des stehenden Textens wurde das festere Halten mit einer größeren Oppositionsstellung über die Hand von fast 17° ausgeglichen. Im sitzenden Texten blieb der Winkel unter 13°. Durchschnittlich wurde achteinhalb mal pro Sekunde zwischen Beugung und Streckung über die Handfläche gewechselt. In einem Vergleich verschiedener virtueller Tastaturen auf dem Tablet von Trudeau et al. (2013) wurden die Daumen im Grund- und Sattelgelenk nur unterhalb des Bereichs mittlerer Exposition ausgelenkt. Dagegen berichteten die Forscher abhängig von der Tabletausrichtung und dem Tastaturlayout Winkel im oberen Daumengelenk von 28° bis 44°, die im hohen Expositionsbereich anzusiedeln sind.

Die Bewertung der Muskelaktivitäten in der Hand erfolgt, wie bereits unter 3.1.4 beschrieben, nach der von Jonsson (1982) vorgeschlagene Grenze von fünf Prozent der maximalen freiwilligen Muskelkontraktion. Die Vergleichsgrundlage bezieht sich ebenfalls auf den Median der Muskelaktivität, der in allen Untersuchungen gleichermaßen mitgeteilt wurde. In Tab. 3.6 findet sich ein Überblick zu den Ergebnissen der Muskelaktivitäten.

Tab. 3.6 Interventionsstudien zu Muskelaktivitäten in Unterarm und Hand

Quelle	Device und Haltung	EMG in % MVC Daumen/ Zeigefinger (Device Interaktion)	EMG in % MVC Finger und Handgelenk (Device Halten)
Gustafsson et al. 2010	Mobilphone, physische Tasten sitzend & stehend	Texten Daumen > 5 %	Finger Extension > 5 % Zeigefinger je nach Bedingung > 5 %
Gustafsson et al. 2011	Mobilphone, physische Tasten sitzend	Texten Daumen > 5 %	Finger Extension > 5 % Zeigefinger je nach Bedingung > 5 %
Kietrys et al. 2015	Mobilphone, physische Tasten, Smartphone sitzend	Texten Daumen nach Bedingung > 5 % bis > 10 %	Handgelenk Extension < 5 % Flexion > 5 %
Ko et al. 2015	Smartphone	Texten Daumen nach Bedingung \geq 5 %	Handgelenk Extension je nach Bedingung < 5 % bzw. > 5 % Flexion je nach Bedingung < 5 % bzw. > 5 %
Lee et al. 2015	Smartphone sitzend	Texten Daumen nach Bedingung > 10 % bis 50 %	
Xie et al. 2015	Smartphone sitzend	Texten Daumen < 5 % Texten Zeigefinger nach Bedingung > 10 %	Finger Extension < 5 % Zeigefinger > 5 %
Kietrys et al. 2015	Tablet sitzend	Texten Daumen > 20 %	Handgelenk Extension > 5 % Flexion > 5 % bis > 10 %
Lozano et al. 2011	Tablet sitzend		Handgelenk Extension nach Bedingung > 5 % bis > 15 %
Young et al. 2013	Tablet sitzend		Handgelenk Extension je nach Bedingung < 5 % bzw. > 5 %

Quelle	Device und Haltung	EMG in % MVC Daumen/ Zeigefinger (Device Interaktion)	EMG in % MVC Finger und Handgelenk (Device Halten)
Pereira et al. 2013	Tablet stehend		Handgelenk Extension > 5 % Flexion > 5 % bis 10 % Finger Flexion > 10 %
Plegge & Alexander 2015	Tablet gehend		Handgelenk Extension und Flexion < 5 % Finger Extension < 5 %

Im Handgelenkstrecker ergaben sich bei Kietrys et al. (2015) in Übereinstimmung mit den oben berichteten gemessenen Winkeln im Handgelenk im kurzen und langen Handgelenkstrecker Muskelaktivitäten von unter fünf Prozent MVC in den Telefonbedingungen und mehr als fünf Prozent MVC für Minitablet und Tablet. Aufgabenabhängig beschrieben Young et al. (2013) Muskelaktivität im Handgelenkstrecker von mehr als neun Prozent MVC, wenn bei auf dem Tisch oder Schoß liegendem Tablet die virtuelle Tastatur genutzt wurde. Wurde das Tablet zum Browsen oder Spielen verwendet, lagen die Aktivitäten unabhängig von der Positionierung unter fünf Prozent MVC. In einer Halte-Aufgabe maßen Plegge und Alexander (2015) ebenfalls weniger als fünf Prozent MVC sowohl in den Handgelenkbeugern als auch den Streckern. Dagegen berichteten Pereira et al. (2013) für ebenfalls ungestützte Halte-Aufgaben sowohl im speichenseitigen Handgelenkbeuger als auch im Strecker mehr als fünf Prozent MVC Muskelaktivität. Lozano et al. (2011) zeigten, dass Multitouch-Gesten im Handgelenkstrecker Muskelaktivitäten von 8 bis maximal 16 Prozent MVC herbeiführten. Alle Bewegungen führten zu höheren Muskelaktivitäten als die Maximalaktivität bei Interaktion mit einer Computer-Maus.

Wie auch aus den beobachteten Winkelstellungen der Handgelenke lässt sich an den Ergebnissen eine starke Aufgabenabhängigkeit der resultierenden Muskelaktivität ablesen. Speziell beim Tablet-PC führen durch die Einheit von Display und Eingabe sehr enge virtuelle Tastaturen zu als belastend einzustufenden Haltungen des Handgelenks. Eine längere Nutzungsdauer sollte daher vermieden und die Hände durch häufige Pausen entlastet werden. Die Einbindung einer externen breiteren Tastatur könnte ebenfalls Abhilfe schaffen. Allerdings ergab die Untersuchung durch Stawarz und Benedyk (2013), dass diese auf Grund der damit einhergehenden Mobilitätseinschränkungen von den Anwendern und Anwenderinnen mehrheitlich abgelehnt wurden.

Hinsichtlich der Muskelaktivität sind im Daumen Ableitungen von acht Muskeln und zusätzlich verschiedenen Fingermuskeln möglich. Auf Grund der räumlichen Nähe sind nicht alle Ableitungen parallel durchführbar, so dass nicht für alle Studien gleiche Ableitungen verwendet wurden. Die Studienergebnisse sind daher nicht alle direkt vergleichbar. Nach Jonsson et al. (2011) ist weiter zu bemerken, dass EMG-Ableitungen und Messung der Gelenkwinkel mittels Goniometrie verschiedene Aspekte von Beanspruchung liefern und sich nicht substituieren. Auf Grund der von Jonsson et al. gefundenen niedrigen Zusammenhänge zwischen Gelenkwinkeln und

korrespondierenden EMG Ableitungen verschiedener Daumen- und Fingermuskeln können trotz gering gemessener Muskelaktivität ungünstige Gelenkwinkel nicht ausgeschlossen werden. Das gleiche gilt für den umgekehrten Fall. Hinzu kommt, dass sich bei Messung kombinierter Daumenwinkel einige Einzelwinkel auch aufheben können.

Für die bei halbgeschlossener, hohler Hand am Halten und Stabilisieren des Geräts beteiligten Fingerbeuger berichteten Kietrys et al. (2015) sowohl für mobile Telefone mit physischem Keypad als mit Smartphone über fünf Prozent. Auch Ko et al. (2015) fanden für den Fingerbeuger wie auch für den Fingerstrecker Muskelaktivitäten über fünf Prozent MVC. Dagegen erhoben Xie et al. (2015) im Fingerstrecker wie auch im -beuger Muskelaktivitäten unter fünf Prozent MVC. In den Untersuchungen von Gustafsson et al. (2011) zeigte sich ein deutlicher Effekt der Geschwindigkeit, in der getextet wurde. Lagen die Muskelaktivitäten im Fingerbeuger und -strecker in den meisten Bedingungen knapp unter fünf Prozent, erhöhte sich diese im Fingerstrecker bei hoher Tippgeschwindigkeit auf über fünf Prozent MVC. Auch einhändiges Greifen/Halten führte hier zu Aktivität über fünf Prozent MVC. Beides sahen Gustafsson et al. bedingt durch die in diesen Bedingungen notwendige erhöhte Stabilisierung des Gerätes. Xiong und Muraki (2014) fanden einen Zusammenhang mit der Haltung des Daumens und der Muskelaktivität im Zeigefingermuskel. Je eher Tippaufgaben eine vertikale Haltung des Daumens induzierten, desto höher war der Zeigefingermuskel aktiviert. Wie auch Gustafsson et al. führten Xiong und Muraki dies auf die Bedeutung des Zeigefingers für die Stabilisation des Smartphone zurück.

Nur geringe Muskelaktivitäten unter fünf Prozent berichteten Plegge und Alexander (2015) für die Fingerstrecker im Zusammenhang mit dem Halten eines Tablets. Muskelaktivitäten deutlich über fünf Prozent MVC im Fingerbeuger bei verschiedenen Tabletgrößen maßen sowohl Kietrys et al. (2015) wie auch Pereira et al. (2013). Dabei zeigte sich ein deutlicher Sprung vom Minitablet zum Tablet. Bedingt durch das höhere Gewicht und einem Schwerpunkt, der bei einhändigem Halten weiter von der Hand entfernt lag, wurde das Tablet fester gegriffen. Darüber hinaus gaben die Versuchspersonen in der Studie von Pereira et al. für das 10" Tablet nur 15 Minuten mögliche Haltedauer im Gegensatz zu 26 bzw. 36 für das Phablet und das Minitablet an. Kietrys et al. sahen als weiteren Faktor eine andere Positionierung gerade von 10" Tablets. Diese wurden häufiger im Schoß abgelegt und dann im Zehn-Finger-System getippt - einhergehend mit einer stärkeren Aktivität im Fingerbeuger.

Im kleinen und langen Daumenspreizer zeigten Gustafsson et al. (2011) eine Muskelaktivität über fünf Prozent. Eine hohe Tippgeschwindigkeit hatte erwartungsgemäß eine höhere Aktivität im Daumenmuskel zur Folge. Speziell eindaumiges Texten führte zu mehr als doppelt so vielen Bewegungswiederholungen. Kietrys et al. (2015) erhoben ebenfalls im kleinen Daumenabspreizer eine Muskelaktivität von deutlich über fünf Prozent MVC für Smartphones wie auch Telefone mit Keypad. Muskelaktivität von durchschnittlich mehr als fünf Prozent im Daumenbeuger fanden Ko et al. (2015). Insbesondere einhändiges Texten resultierte in einer Medianmuskelaktivität von mehr als neun Prozent MVC. Zwar texteten die Versuchspersonen in der einhändigen Haltevariante am langsamsten, jedoch war die Textgeschwindigkeit nicht doppelt so langsam wie in den beidhändigen Bedingungen. Die Autoren sahen darin ein erhöhtes Risiko für MSD des Daumens durch die häufigen Bewegungswiederholungen für eindaumiges Texten. Ebenfalls einen signifikanten Unterschied zwischen einhändigem und beidhändigem Texten auf dem Smartphone berichteten Lee, M. et

al. (2015). Allerdings lagen die Muskelaktivitäten beidhändig im langen Daumenstrecker und -spreizer bereits über zehn Prozent MVC, einhändig wurden Werte über zwanzig Prozent MVC gemessen. Wie auch im Fingermuskel berichteten Xie et al. (2015) auch im kleinen Daumenabspreizer eine mittlere Muskelaktivität unter fünf Prozent MVC, wie in den übrigen Untersuchungen lag die Muskelaktivität bei einhändiger Bedienung signifikant über der beidhändigen. Xiong und Muraki (2014) fanden, wenn der Daumen flacher und mit mehr Druck zum Touchscreen geführt wurde (kleinere Tasten, Bewegungswechsel im Sattelgelenk), höherer Muskelaktivität im Daumen.

Sowohl für die Verwendung eines Minitablets als auch für die 10" Variante erhoben Kietrys et al. Muskelaktivitäten im kurzen Daumenspreizer von über 20 Prozent. Diesen Effekt führten die Autoren auf den in den Tablet Bedingungen deutlich größeren genutzten Daumenradius zurück.

Beanspruchungshinweise auf Grund der Muskelbelastung, insbesondere im Bereich des Daumens, im Zusammenhang mit der Nutzung von Smart Devices fanden sich u. a. bei Sharan et al. (2014). Eine post hoc Analyse von 70 medizinischen Gutachten ergab, dass in allen Fällen eine Tendinosis im langen Daumenstrecker sowie ein myofaciales Schmerzsyndrom in den Fingerstreckern und dem Zeigefingerspreizer auf Grund einer intensiven Nutzung von „Mobile-Touch Devices“ diagnostiziert wurde. Zudem zeigten Zusammenhänge zu medizinischen Befunden im Bereich des Nackens und oberen Rückens. In einer Pilotstudie von Gold et al. (2014) gaben erhöhte Entzündungsmarker im Blutserum von Vieltexterinnen ein Hinweis auf Sehnenentzündungen im Daumen. Vieltextern war auch in der Untersuchung von Ali et al. (2014) und Eapen et al. (2014) mit erhöhtem Risiko für Sehnencheidenentzündungen im Daumen verbunden und Inal et al. (2015) sahen in den von ihnen gefundenen Veränderungen des Medianerves bei Vieltextenden ein Risiko für die Entwicklung eines Karpal-Tunnel-Syndroms.

Sowohl für Smartphone- als auch für Tablet-Nutzung ist auf Basis der gemessenen Muskelaktivitäten in Kombination mit den berichteten Winkeln in den drei Gelenken eine hohe physische Belastung im Daumen anzunehmen. Aus den Ergebnissen der verschiedenen Untersuchungen lässt sich ableiten, dass insbesondere einhändiges und schnelles Texten eine erhöhte Belastung für die Daumen darstellt. Gerade das Verfassen längerer zusammenhängender Texte sollte daher mit beiden Händen und in mäßigem Tempo erfolgen. Werden die Geräte über längere Zeit ohne Entlastung für Arme und Rücken gehalten, empfehlen sich eher kleinere und leichtere Varianten, so dass die erforderliche Muskelaktivität möglichst gering gehalten wird. Damit übereinstimmend gaben auch die Versuchspersonen in einer Studie von Sambrooks und Wilkinson (2015) weniger subjektive Müdigkeit und höhere Präferenzen für ein Smartphone an, wenn das Gerät auf Grund der Aufgabe lange frei gehalten werden musste. War dagegen die sichtbare Bildschirmfläche ausschlaggebend für die Aufgabendurchführung, wurde dieses deutlich weniger präferiert.

Weiterhin können auf kleineren Smart Devices auch Personen mit kleinen Daumen und Händen einfacher das gesamte Display mit Daumenbewegungen abdecken. Sie können gleichzeitig besser gehalten und in der Hand gekippt werden, womit die Daumenreichweite weiter unterstützt wird. Allerdings ist ein gegenläufiger Trend in den Verkaufszahlen zu immer größeren Geräten zu beobachten: Der Verkaufsanteil von 3-3,5" Geräten ist von 18 Prozent in 2013 auf 4 Prozent in 2015 gesunken. Auch

der Verkauf von 4-4,5" Displayformate reduzierte sich im gleichen Zeitraum von 44 Prozent auf 25 Prozent, während 5-5,5" Displays bei Smartphones entsprechend zugenommen haben (Lutter et al. 2015). Die Mehrheit der berichteten Studien betrachtete eher kleine Smartphones von 3,5 bis 4,8". Das von Pereira et al. als kleinstes Tablet 5,3" gewählte Gerät entspricht damit einer gängigen Größe neuer Smartphones. Zu erwartende physische Belastungen lassen sich damit weniger einer Zuordnung zu einem Gerätetyp festmachen.

3.3 Risiken physischer Beanspruchung im Bereich Augen

Eine experimentelle Studie von Liu et al. (2014) hatte den Vergleich zwei verschiedener Smartphones mit unterschiedlich stark reflektierendem Display und unterschiedlicher maximaler Bildschirmhelligkeit im Fokus. Unter fünf Beleuchtungsbedingungen von sehr dunkel mit 0-10 Lux bis sehr hell (Außenlicht) 3000-30000 Lux führten drei Versuchspersonen eine zeitlich nicht limitierte Buchstabenerkennung vor weißem Rauschen durch. Die Teilnehmer hielten die Geräte in der Hand und konnten über die eigene räumliche Orientierung, Blendungen und Reflektionen reduzieren. Die besten Erkennungsleistungen gelangen für beide Displays unter den dunklen Raumbedingungen. Je stärker die Beleuchtung, desto förderlicher waren die blendreduzierten Displays für die Mustererkennung. Allerdings war es den Versuchspersonen bei einer Beleuchtung von mehr als 1000 Lux infolge des Kontrastverlusts durch verschwindende Leuchtdichteunterschiede (Whiteout) sowie Reflektion und Blendung kaum möglich etwas auf den Displays zu erkennen. Die Mustererkennung gelang nur in 50 Prozent der Fälle und weniger. Darüber hinaus berichteten die Autoren, dass die Teilnehmer sowohl den Blickwinkel als auch die Entfernung zum Gerät dynamisch veränderten

Siegenthaler et al. (2012). verglichen ein eInk sowie ein 10" LED-Gerät hinsichtlich der Lese-Performance und resultierenden Augenmüdigkeit. Die teilnehmenden Personen lasen mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 45 Wörtern pro Minute. Unabhängig vom Display/Gerät wurden die subjektiven Schätzungen der Augenmüdigkeit mit steigender Lesedauer größer. In den gleichzeitig gemessenen objektiven Parametern zeigten sich weder bezüglich der Augenbewegung noch für den Pupillenreflex Effekte. Auch eine visuelle Suchaufgabe im Anschluss an jede Leseprobe blieb ohne Unterschiede zwischen den Lesegeräten.

Anhand der Studien lassen sich prinzipiell keine Beeinträchtigungen des visuellen Systems infolge der Nutzung von Smart Devices ablesen. Dagegen zeigt sich ein deutlicher Einfluss des Umgebungsfaktors Beleuchtung. Auf Grund von Kontrastverlusten sowie Reflektion und Blendung erscheint es nicht sinnvoll Smart Devices unter Beleuchtung von mehr als 1000 Lux einzusetzen. Je wichtiger die Diskriminationsfähigkeit für die Arbeitsaufgabe ist, desto ratsamer ist der Einsatz blendarmer Displays mit hohem Kontrast auch unter hohem Lichteinfall.

4 Gesamtbewertung

Mit Smart Devices identifizierte physische Risiken ähneln denen traditioneller Computertechnologien. Muskel-Skelett-Beschwerden ergeben sich auch mit den neuen mobilen Technologien infolge nicht neutraler, z. T. statischer Körperhaltung, häufiger Bewegungswiederholungen und hohen Muskelaktivitäten. Allerdings erscheint es gerade für Smart Devices wichtig, nicht nur Einzelkomponenten wie Nacken und Rücken, Hand und Augen sondern vielmehr die Auswirkungen auf das Gesamtsystem Mensch zu betrachten.

Auf Grund der Hauptcharakteristik der Geräte - der Mobilität - werden Smart Devices in sehr unterschiedlichen Umgebungen genutzt. Der Lichteinfall wirkt durch Änderungen im Leuchtdichtekontrast sowie Reflektion und Blendung nicht nur auf das visuelle System. Nutzende versuchen, durch verschiedene, teils ungünstige Haltungen Blendungen und Reflektionen zu vermeiden und durch Abschattung des Gerätes mit dem eigenen Körper den sichtbaren Kontrast zu verbessern (Bretschneider-Hagemes 2011, Liu et al. 2014). Da Eingabemöglichkeit und Display nicht ohne externe (wenig mobile) Zusatzausrüstung zu trennen sind, beeinflusst die Änderung eines physischen Parameters auch alle anderen.

Welche physischen Belastungen tatsächlich auftreten, ist stark aufgabenabhängig. Auch die Positionierung der Devices spielt eine ausschlaggebende Rolle. Entweder werden die Geräte auf Kopfhöhe gehalten. Dann ist die resultierende Körperhaltung für den Nacken unproblematisch. Der Rücken, die Oberarme und die Handgelenke sind jedoch stärker belastet. Oder Smartphones und speziell Tablet-PCs werden tief gehalten oder im Schoß abgelegt. In diesem Fall sind die Rücken- und Armmuskeln sowie die Handgelenke weniger belastet. Allerdings ist dann häufig der Kopf/Nacken sehr stark gebeugt. Ablagemöglichkeiten helfen, zusätzliche Muskelbelastung durch das Halten zu verringern. Die richtige Höhe bestimmt sich situationsabhängig vor allem durch die intendierte Interaktion mit dem Gerät.

Spezifisch und neu ist die Belastung der Daumen, insbesondere durch neue Formen der Texteingabe und Multitouch-Gesten. Speziell in der Texteingabe wurden Daumen auf herkömmlichen Tastaturen im Zehn-Finger-System nur zur Bedienung der Leertaste eingesetzt. Die häufig repetitiven, sehr schnellen Bewegungen während des Verfassens von Texten, gerade auf kleineren Displays wie dem Smartphone, bergen ein erhöhtes Risiko für Tendinopathien vornehmlich im Daumen. Eine Nutzung mit beiden Daumen ist daher der Ein-Daumen-Bedienung vorzuziehen. Kleinere leichtere Geräte versprechen weniger Haltearbeit und ein besseres Verhältnis von Display und Daumenreichweite.

Für Tablets können geteilte virtuelle Tastaturen intensive Streckung von Daumen und Handgelenken vermeiden helfen. Durch die Aufteilung des alphanumerischen Tastenfeldes in die linke und rechte Hälfte des Displays muss hier allerdings zunächst die ungewohnte Lage der Tasten geübt werden. Externe Tastaturen und Accessoires können insbesondere bei längerer Nutzung helfen Belastungen zu vermeiden, schränken allerdings die Mobilität der Geräte ein. Eine sinnvolle Optimierung ist daher nur unter Berücksichtigung der spezifischen Aufgabe möglich.

Ob für eine Aufgabe eher Smartphones oder Tablet-PCs in Betracht kommen oder doch eher Laptop-PCs steht in Abhängigkeit mit der intendierten Nutzung. Für eine große Menge darzustellender Daten ist ein großes Display und damit eher ein Tablet als ein Smartphone geeignet. Auch für das Verfassen längerer Texte erscheinen Smartphones gerade im Hinblick auf die Belastung der Daumen eher kontraindiziert. Muss das Gerät viel getragen und ohne Unterstützung gehalten werden, sind kleinere Smartphones von Vorteil.

5 Fazit

Es gibt bislang kaum Erkenntnisse, welche dieser Risiken, wie im Arbeitskontext auftreten. Die hier aufgeführten, bisherigen Studien untersuchten lediglich den kurzzeitigen Einsatz mit wenig konkretem Arbeitsbezug. Vor diesem Hintergrund fällt die Bildung allgemein gültiger Richtlinien schwer. Allerdings lassen sich einige grundsätzliche Empfehlungen im Zusammenhang mit der Nutzung von mobilen Smart Devices im Arbeitsumfeld ableiten.

- Auf Grund eines mobilen Einsatzes unter wechselnden Beleuchtungsbedingungen sollten reflektionsarme Displays oder eine Modifikation bestehender Bildschirmoberflächen mit reflektionsmindernden Folien Verwendung finden, um störende Blendungen und Spiegelungen zu vermeiden.
- Insbesondere bei Einsatz unter hoher Umgebungsbeleuchtung sollte auf Geräte mit entsprechend hoher Kontrastschärfe zurückgegriffen werden.
- Die Darstellung von Zeichen und Grafiken sollte für die mobilen Geräte optimiert und ausreichend groß sein.
- Weiterhin sollte die Größe des Bildschirms der vorwiegenden Nutzungsweise des Smart Devices im Arbeitskontext angemessen sein. Individuell einstellbare Bildschirmdarstellungen können die Wahl alternativer Arbeitshaltungen (z. B. Abstand zum Auge) und -bewegungen unterstützen.
- Durch die fehlende Trennung zwischen Bildschirm und Eingabe sowie den damit einhergehenden Haltungen eignen sich Smart Devices eher für den kurzfristigen Einsatz als Arbeitsmittel unterbrochen durch regelmäßige Pausen und/oder andere Tätigkeiten.
- Für einen längeren Einsatz sollten zusätzliche externe Eingabemittel verwendet werden.
- Unabhängig von der Eingabeart erscheint es sinnvoll, die Arme sowie den Rücken durch geeignete Ablageflächen ggf. auch Aufsteller für die mobilen Geräte zu unterstützen und zu entlasten. Auch sollten Smart Devices wie Tablets und Smartphones prinzipiell eher beidhändig genutzt werden.
- Gewicht des Gerätes und notwendige Bildschirmgröße sollten entsprechend der Arbeitsaufgabe optimal gegeneinander abgewogen werden.
- Personen, die auf regelmäßiger Basis mit Smart Devices arbeiten, sollten darüber hinaus über die kritischen Punkten für die Haltung informiert sein.

Für spezifischere Empfehlungen erscheint weitere Forschung zur Nutzung von Smart Devices im Arbeitskontext notwendig. Auf dieser Basis können Aufgabenclustern identifiziert und entsprechende Gestaltungsprinzipien für Arbeitsplatz, -umgebung und -mittel abgeleitet werden.

Literaturverzeichnis

- Aarås, A. (1990). Acceptable muscle load on the neck and shoulder regions assessed in relation to the incidence of musculoskeletal sick leave: Implications for human-computer interaction. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 2, 29-39.
- Aarås, A. (1994). Relationship between trapezius load and the incidence of musculoskeletal illness in the neck and shoulder. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 14, 341-348.
- Adolph, L. (2016). Menschengerechte Arbeit in der digitalen Arbeitswelt. Herausforderungen auf dem Weg zur guten Gestaltung. In L. Schröder & H.-J. Urban (Eds.), *Gute Arbeit. Digitale Arbeitswelt : Trends und Anforderungen*. Frankfurt am Main: Bund-Verlag, 216-226.
- Ali, M., Asim, M., Danish, S. H., Ahmad, F., Iqbal, A., & Hasan, S. D. (2014). Frequency of De Quervain's tenosynovitis and its association with SMS texting. *Muscles Ligaments Tendons J*, 4, 74-78.
- Bachynskyi, M., Palmas, G., Oulasvirta, A., Steimle, J., & Weinkauff, T. (2015). Performance and Ergonomics of Touch Surfaces: A Comparative Study using Biomechanical Simulation. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems*. Seoul, Republic of Korea: ACM, 1817-1826.
- Barakat, M., Field, J., & Taylor, J. (2013). The range of movement of the thumb. *Hand*, 8, 179-182.
- Bergstrom-Lehtovirta, J., & Oulasvirta, A. (2014). Modeling the functional area of the thumb on mobile touchscreen surfaces. In *Proceedings of the 32nd annual ACM conference on Human factors in computing systems*. Toronto, Ontario, Canada: ACM, 1991-2000.
- Berolo, S., Wells, R. P., & Amick, B. C., III. (2011). Musculoskeletal symptoms among mobile hand-held device users and their relationship to device use: A preliminary study in a Canadian university population. *Applied Ergonomics*, 42, 371-378.
- Bretschneider-Hagemes, M. (2011). Belastungen und Beanspruchungen bei mobiler IT-gestützter Arbeit – Eine empirische Studie im Bereich mobiler, technischer Dienstleistungen. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaften*, 65, 223-233.
- Dennerlein, J. T. (2015). The state of ergonomics for mobile computing technology. *Work*, 52, 269-277.
- DIN 9241-303 Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 303: Anforderungen an elektronische optische Anzeigen (ISO 9241-303:2011); Deutsche Fassung EN ISO 9241-303:2011
- Drury, C. G. (1987). A biomechanical evaluation of the repetitive motion injury potential of industrial jobs. *Seminars in occupational medicine*, 2, 41-49.
- Eapen, C., Kumar, B., Bhat, A. K., & Venugopal, A. (2014). Extensor Pollicis Longus Injury in Addition to De Quervain's with Text Messaging on Mobile Phones. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, 8, Lc01-04.

- Fountain, L. J. (2003). Examining RULA's postural scoring system with selected physiological and psychophysiological measures. *Int J Occup Saf Ergon*, 9, 383-392.
- Gold, J. E., Driban, J. B., Thomas, N., Chakravarty, T., Channell, V., & Komaroff, E. (2012). Postures, typing strategies, and gender differences in mobile device usage: An observational study. *Applied Ergonomics*, 43, 408-412.
- Gold, J. E., Mohamed, F. B., Ali, S., & Barbe, M. F. (2014). Serum and MRI Biomarkers in Mobile Device Texting. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 56, 864-872.
- Grael, B., Terhoeven, J.-N., Wischniewski, S., & Kluge, A. (2014). Erfassung akzeptanzrelevanter Merkmale von Datenbrillen mittels Repertory Grid Technik. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 68, 250-256.
- Gustafsson, E., Johnson, P. W., & Hagberg, M. (2010). Thumb postures and physical loads during mobile phone use - a comparison of young adults with and without musculoskeletal symptoms. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 20, 127-135.
- Gustafsson, E., Johnson, P. W., Lindegård, A., & Hagberg, M. (2011). Technique, muscle activity and kinematic differences in young adults texting on mobile phones. *Ergonomics*, 54, 477-487.
- Hoggan, E., Nacenta, M., Kristensson, P. O., Williamson, J., Oulasvirta, A., & Lehti, A. (2013). Multi-touch pinch gestures: performance and ergonomics. In *Proceedings of the 2013 ACM international conference on Interactive tabletops and surfaces*. St. Andrews, Scotland, United Kingdom: ACM, 219-222.
- Hoggan, E., Williamson, J., Oulasvirta, A., Nacenta, M., Kristensson, P. O., & Lehti, A. (2013). Multi-touch rotation gestures: performance and ergonomics. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. Paris, France: ACM, 3047-3050.
- Honan, M. (2015). Mobile work: Ergonomics in a rapidly changing work environment. *Work*, 52, 289-301.
- Inal, E. E., Demirci, K., Çetintürk, A., Akgönül, M., & Savaş, S. (2015). Effects of smartphone overuse on hand function, pinch strength, and the median nerve. *Muscle and Nerve*, 52, 183-188.
- Jonsson, B. (1982). Measurement and evaluation of local muscular strain in the shoulder during constrained work. *Journal Human Ergology*, 11, 73-88.
- Jonsson, P., Johnson, P. W., Hagberg, M., & Forsman, M. (2011). Thumb joint movement and muscular activity during mobile phone texting – A methodological study. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 21, 363-370.
- Jørgensen, K., Fallentin, N., Krogh-Lund, C., & Jensen, B. (1988). Electromyography and fatigue during prolonged, low-level static contractions. *European Journal of Applied Physiology*, 57, 316-321.
- Kamp, I., Van Veen, S. A. T., & Vink, P. (2015). Comfortable mobile offices: A literature review of the ergonomic aspects of mobile device use in transportation settings. *Work : A Journal of Prevention, Assessment and Rehabilitation*, 52, 279-287.

- Kietrys, D. M., Gerg, M. J., Dropkin, J., & Gold, J. E. (2015). Mobile input device type, texting style and screen size influence upper extremity and trapezius muscle activity, and cervical posture while texting. *Applied Ergonomics*, *50*, 98-104.
- Knight, J. F., & Baber, C. (2007). Assessing the physical loading of wearable computers. *Applied Ergonomics*, *38*, 237-247.
- Ko, P. H., Hwang, Y. H., & Liang, H. W. (2015). Influence of smartphone use styles on typing performance and biomechanical exposure. *Ergonomics*, 1-8.
- Lee, M., Hong, Y., Lee, S., Won, J., Yang, J., Park, S., Chang, K.-T., & Hong, Y. (2015). The effects of smartphone use on upper extremity muscle activity and pain threshold. *Journal of Physical Therapy Science*, *27*, 1743.
- Lee, S., Kang, H., & Shin, G. (2015). Head flexion angle while using a smartphone. *Ergonomics*, *58*, 220-226.
- Lin, I.-M., & Peper, E. (2009). Psychophysiological patterns during cell phone text messaging: A preliminary study. *Applied psychophysiology and biofeedback*, *34*, 53-57.
- Liu, P., Zafar, F., & Badano, A. (2014). The Effect of Ambient Illumination on Handheld Display Image Quality. *Journal of Digital Imaging*, *27*, 12-18.
- Lozano, C., Jindrich, D., & Kahol, K. (2011). The impact on musculoskeletal system during multitouch tablet interactions. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, May 7.-12, 2011*. Vancouver, Canada: ACM, 825-828.
- Lueder, R. (1996). A proposed RULA for Computer Users. In *Proceedings of the Ergonomics Summer Workshop*. UC Berkeley Center for Occupational & Environmental Health Continuing Education Program, San Francisco, August 8-9, 1996.
- Lutter, T., Pentsi, A., Poguntke, M., Böhm, K., & Esser, R. (2015). Zukunft der Consumer Electronics – 2015. Marktentwicklung, Schlüsseltrends, Mediennutzung, Konsumentenverhalten, Neue Technologien. Berlin: Bitkom e.V.
- Masseida, J., Philipp, J.-J., Wicher, C., & Jaschinski, W. (2013). Verschiedene Kenngrößen für die physiologisch günstige Kopfneigung. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, *67*, 207-219.
- Mauritz, N. (2015). Die vierte industrielle Revolution, ihre Auswirkungen und wie Unternehmen diesen begegnen können - eine Literaturanalyse. In S. Franken (Ed.), *Industrie 4.0 und ihre Auswirkungen auf die Arbeitswelt*. Aachen: Shaker, 12-40.
- McAtamney, L., & Corlett, E. N. (1993). RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. *Applied Ergonomics*, *24*, 91-99.
- Ning, X., Huang, Y., Hu, B., & Nimbarte, A. D. (2015). Neck kinematics and muscle activity during mobile device operations. *International Journal of Industrial Ergonomics*, *48*, 10-15.
- Otten, E. W., Karn, K. S., & Parsons, K. S. (2013). Defining thumb reach envelopes for handheld devices. *Hum Factors*, *55*, 48-60.

- Park, Y. S., & Han, S. H. (2010a). One-handed thumb interaction of mobile devices from the input accuracy perspective. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 40, 746-756.
- Park, Y. S., & Han, S. H. (2010b). Touch key design for one-handed thumb interaction with a mobile phone: Effects of touch key size and touch key location. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 40, 68-76.
- Pereira, A., Miller, T., Huang, Y.-M., Odell, D., & Rempel, D. (2013). Holding a tablet computer with one hand: effect of tablet design features on biomechanics and subjective usability among users with small hands. *Ergonomics*, 56, 1363-1375.
- Plegge, C., & Alexander, T. (2015). Untersuchung der muskulären Beanspruchung bei unterschiedlichen Schwerpunktlagen von Tablet-PCs im Gehen. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 69, 129-136.
- Sambrooks, L., & Wilkinson, B. (2015). Handheld augmented reality: Does size matter? In S. Marks & R. Blagojevic (Eds.), *Proceedings of the 16th Australasian User Interface Conference (AUIC 2015). Conferences in Research and Practice in Information Technology Series*. Sydney: Australian Computer Society Inc., Vol. 162, 11-20.
- Sharan, D., & Ajeesh, P. S. (2012). Risk factors and clinical features of text message injuries. *Work : A Journal of Prevention, Assessment and Rehabilitation*, 41, 1145-1148.
- Sharan, D., Mohandoss, M., Ranganathan, R., & Jose, J. (2014). Musculoskeletal Disorders of the Upper Extremities Due to Extensive Usage of Hand Held Devices. *Annals of Occupational and Environmental Medicine*, 26, 1-4.
- Siegenthaler, E., Bochud, Y., Bergamin, P., & Wurtz, P. (2012). Reading on LCD vs e-Ink displays: Effects on fatigue and visual strain. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 32, 367-374.
- Sjogaard, G., Kiens, B., Jorgensen, K., & Saltin, B. (1986). Intramuscular pressure, EMG and blood flow during low-level prolonged static contraction in man. *Acta Physiologica Scandinavica*, 128, 475-484.
- Stawarz, K., & Benedyk, R. (2013). Bent necks and twisted wrists: Exploring the impact of touch-screen tablets on the posture of office workers. In *Proceedings of the 27th International BCS Human Computer Interaction Conference*: British Computer Society, 41-47.
- Theis, S., Pfendler, C., Alexander, T., Mertens, A., Brandl, C., & Schlick, C. M. (2016). *Head-Mounted Displays - Bedingungen des sicheren und beanspruchungsoptimalen Einsatzes: Physische Beanspruchung beim Einsatz von HMDs*. Dortmund/Berlin/Dresden: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.
- Trudeau, M. B., Catalano, P. J., Jindrlich, D. L., & Dennerlein, J. T. (2013). Tablet Keyboard Configuration Affects Performance, Discomfort and Task Difficulty for Thumb Typing in a Two-Handed Grip. *PLoS One*, 8, e67525.
- Trudeau, M. B., Udtamadilok, T., Karlson, A. K., & Dennerlein, J. T. (2012). Thumb motor performance varies by movement orientation, direction, and device size during single-handed mobile phone use. *Human Factors*, 54, 52-59.

- Vasavada, A. N., Nevins, D. D., Monda, S. M., Hughes, E., & Lin, D. C. (2015). Gravitational demand on the neck musculature during tablet computer use. *Ergonomics*, *58*, 990-1004.
- Welskop-Deffaa, E. M. (2016). Die Gestaltung des Arbeitsschutzes in der Arbeitswelt 4.0. In L. Schröder & H.-J. Urban (Eds.), *Gute Arbeit. Digitale Arbeitswelt : Trends und Anforderungen*. Frankfurt am Main: Bund-Verlag, 189-201.
- Wille, M. (2016). *Head-Mounted Displays - Bedingungen des sicheren und beanspruchungsoptimalen Einsatzes: Psychische Beanspruchung beim Einsatz von HMDs*. Dortmund/Berlin/Dresden: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.
- Xie, Y., Szeto, G. P., Dai, J., & Madeleine, P. (2015). A comparison of muscle activity in using touchscreen smartphone among young people with and without chronic neck-shoulder pain. *Ergonomics*, 1-12.
- Xiong, J., & Muraki, S. (2014). An ergonomics study of thumb movements on smartphone touch screen. *Ergonomics*, *57*, 943-955.
- Xiong, J., & Muraki, S. (2016). Effects of age, thumb length and screen size on thumb movement coverage on smartphone touchscreens. *International Journal of Industrial Ergonomics*, *53*, 140-148.
- Yongbunthanaphat, N., & Ladavichitkul, P. (2014). Work Performance Comparison of Holding and Using Tablet. In *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2014 Vol II, IMECS 2014, March 12 - 14, 2014*. Hong Kong, 1037-1041.
- Young, J. G., Trudeau, M. B., Odell, D., Marinelli, K., & Dennerlein, J. T. (2012). Touch-screen tablet user configurations and case-supported tilt affect head and neck flexion angles. *Work*, *41*, 81-91.
- Young, J. G., Trudeau, M. B., Odell, D., Marinelli, K., & Dennerlein, J. T. (2013). Wrist and shoulder posture and muscle activity during touch-screen tablet use: effects of usage configuration, tablet type, and interacting hand. *Work*, *45*, 59-71.

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

	Seite
Abb. 1.1 Smartphone und Tablet-Nutzung in Deutschland. Eigene Darstellung basierend auf Daten aus Lutter et al. (2015)	7
Abb. 3.1 Häufigkeiten der extrahierten, berücksichtigten Studien im Zeitverlauf	10
Tab. 3.1 Inhaltliche Zuordnung der extrahierten Studien	11
Tab. 3.2 Interventionsstudien zu Gelenkwinkeln im Nacken, Rücken und Oberarm	19
Tab. 3.3 Interventionsstudien zu Muskelaktivität im Nacken, Rücken und Oberarm	22
Tab. 3.4 Interventionsstudien zu Gelenkstellungen in Unterarm und Hand	36
Tab. 3.5 Reichweite der Daumengelenkwinkel	38
Tab. 3.6 Interventionsstudien zu Muskelaktivitäten in Unterarm und Hand	40
Anh.,Tab. 1 Suchstring für physische Belastung/Beanspruchung und Smart Devices	54

Anhang

Anh., Tab. 1 Suchstring für physische Belastung/Beanspruchung und Smart Devices

Stringkomponente	Suchbegriffe
Smart Devices	„mobile device“ OR „mobile devices“ OR „smart device“ OR „smart devices“ OR „wearable device“ OR „wearable devices“ OR wearables OR „digital device“ OR „digital devices“ OR „smart phones“ OR „smart phones“ OR „mobile phone“ OR „mobile phones“ OR „tablet computer“ OR tablet-pc OR tablets OR „touch screen“ OR smartwatch OR „smart watch“ OR „smart-watch“
AV	<p>1. „eye pain“ OR „vision disorder“ OR „eye strain“ OR eyestrain OR „visual discomfort“ OR „visual fatigue“ OR glare OR reflection</p> <p>2. pain OR complaint OR affliction OR disorder</p> <p>3. headache OR neck OR „neck muscles“ OR „turtle neck“ OR shoulder OR „shoulder joint „ OR back OR „low back“ OR limb OR elbow OR „elbow joint“ OR joint OR „upper limb“ OR finger OR hand OR thumb OR musculoskeletal OR „upper extremities“ OR arm OR „trigger points“ OR muscular OR „muscle tension“ OR „muscular diseases“ OR „tennis elbow“ OR muscle tonus OR tendon OR physical syndrome OR carpal tunnel</p>
Kontext	Referenzen ab 2007; NOT (child OR children OR smoking OR smokers OR animal OR care OR mhealth OR „mobile health“ OR driving OR driver OR therapy OR rehabilitation OR electromagnetic)