

## **Ergonomie im Büro – Kritische Evaluierung „ergonomischer“ PC-Tastaturen**

Mario PENZKOFER, Oliver Christoph CARL, Karsten KLUTH

*Fachgebiet Arbeitswissenschaft/Ergonomie, Universität Siegen  
Paul-Bonatz-Str. 9-11, D-57068 Siegen*

**Kurzfassung:** In einer Vergleichsuntersuchung galt es verschiedene PC-Tastaturen mit horizontaler und vertikaler Tastenanordnung auf ihre ergonomische Qualität hin zu untersuchen. Zwölf Probanden sollten dabei definierte Schreibaufgaben absolvieren. Neben der subjektiven Beurteilung der Gestaltungsmerkmale der Tastaturen wurde geprüft, ob und wie sich das Schreiben auf den jeweiligen Tastaturen objektiv nachweisbar auf die Muskelbeanspruchung auswirkte. Dazu wurden die elektromyographischen Aktivitäten von insgesamt acht oberflächlich liegenden und an der Texteingabe beteiligten Muskeln des rechten Hand-Arm-Schulter-systems während des Schreibens mit den verschiedenen Tastaturen abgeleitet. Die Ergebnisse belegen, dass durchaus signifikante Unterschiede in der muskulären Beanspruchung zwischen den Tastaturen bestehen. Auch wenn diese Unterschiede nicht substantiell sind, kann festgehalten werden, dass die Horizontaltastatur bei nahezu allen betrachteten Muskeln zwar objektiv höhere Beanspruchungen aufweist, dieser Zusammenhang subjektiv aber nicht bestätigt werden konnte.

**Schlüsselwörter:** Elektromyographie, physiologische Kosten, subjektive Befragung, RSI, Eingabegeräte, Hand-Arm-Schulter-system

### **1. Einleitung**

Tastaturen von herkömmlichen PCs sind – trotz des zunehmenden Anteils von Touchdisplays – Bestandteil vieler Aufgaben, welche die Eingabe oder Verarbeitung von Daten erfordern. Durch die langandauernde Nutzung besitzt die Tastatur einen erheblichen physiologischen Einfluss auf das Hand-Arm-Schulter-system des Menschen. Bedingt durch die Arbeitshaltung werden neben dem Hand-Arm-Schulter-System zusätzlich der Kopf oder auch der Rumpf durch die Computertätigkeit beeinflusst, so dass in der Gesamtheit – neben der ergonomischen Gestaltung der Tastatur – auch auf eine DIN-gerechte Gestaltung des Arbeitsplatzes geachtet werden sollte (vgl. DIN EN ISO 9241-5:1999-08).

Unter Verwendung DIN-gerechter flacher Tastaturen und selbst bei Berücksichtigung ergonomischer und sicherheitstechnischer Erfordernisse hinsichtlich des Büromobiliars, z.B. mit Bildschirmen – in Positivdarstellung, angeordnet in Höhe und Neigung entsprechend der entspannten Sehachse – und mit Tischen nach DIN EN 527-1:2011-08 sowie optimierten Drehstühlen, die über allgemeine Standards hinausgehend dynamisches Sitzen erlauben, kann es bei längeren Schreibtätigkeiten im Zuge der Dateneingabe und Textverarbeitung zu Ermüdung und Muskelverspannungen kommen. Das ist darin begründet, dass schon die Positionierung des Hand-Arm-Schulter-systems in Schreibhaltung – aufgrund des Eigengewichtes der gelenkigen kinematischen Kette – für gewisse Muskeln einen

arbeitsphysiologischen Engpass darstellt. Ein unter statischen Gesichtspunkten optimierter Arbeitsplatz muss also noch lange nicht optimal bzw. uneingeschränkt ergonomisch vertretbar sein. Damit erscheint zumindest plausibel, dass eigentlich jedes (Arbeits-) Mittel recht sein sollte, das für den arbeitenden Menschen Entlastung bzw. Erleichterung verspricht. Doch sollte sich der Nutzer grundsätzlich nicht von Werbeaussagen und oftmals vorschnellen und nicht unbedingt gefestigten Meinungen leiten lassen, wenn es um die verlässliche Einschätzung der ergonomischen Qualität eines Arbeitsmittels geht.

So sind schon seit längerer Zeit verschiedene, neuartig anmutende PC-Tastaturen auf dem Markt erhältlich, die sich als Revolution im Bereich der Eingabegeräte verstehen, da sie nicht wie herkömmliche Tastaturen eine horizontale Eingabefläche, sondern eine vertikale Tastenanordnung vorsehen. Mit diesen Tastaturen soll eine möglichst normale Handhaltung angestrebt und damit das gesamte Hand-Arm-Schulter-System entlastet werden, um somit tätigkeitsspezifische „Belastungssyndrome“ wie z.B. Muskelverspannungen und RSI (Repetitive Strain Injury)-Beschwerden zu mindern. Um diese Herstellerangaben kritisch zu hinterfragen, sollten zwei international angebotene Vertikaltastaturen und eine Horizontaltastatur auf ihre ergonomische Qualität hin geprüft werden.

## 2. Methodik

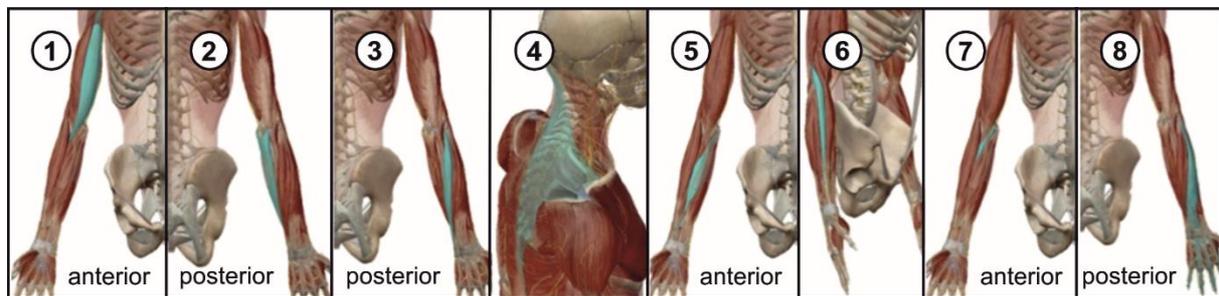
In einer Vergleichsuntersuchung sollten von zwölf Probanden, die das Zehnfingersystem („Blindschreiben“) beherrschen, definierte Schreibtätigkeiten – aufgeteilt auf jeweils zwei zehnminütige Zyklen – mit verschiedenen ergonomischen Tastaturen (siehe Abb. 1) ausgeführt werden. Zu den Untersuchungsgegenständen zählten das Microsoft Natural Ergonomic Keyboard 4000, das aus einem in zwei Halbtastaturen geteilten Tastenfeld mit leichter lateraler Neigung besteht, sowie die zwei Vertikaltastaturen SafeType Ergonomic und Yogitype. Die beiden letztgenannten Tastaturen unterscheiden sich dabei vor allem hinsichtlich der vertikalen Anbringung der Tastaturhälften bzgl. des Winkels und der Neigung sowie durch die optische Rückmeldung. Während der Nutzer bei der SafeType-Tastatur die Lage der Finger über seitlich angebrachte Spiegel kontrollieren kann, setzt die Yogitype-Tastatur auf LEDs, welche den Tastendruck optisch sichtbar machen. Weiterhin verfügt die Yogitype über eine Armauflage, die variabel positionierbar und rollend gelagert ist, um die Erreichbarkeit aller Tasten zu gewährleisten, ohne den Arm anheben zu müssen.



**Abbildung 1:** Untersuchungsgegenstände: Microsoft Natural Ergonomic Keyboard 4000 (links) sowie die Vertikaltastaturen SafeType Ergonomic Keyboard (Mitte) und Yogitype (rechts).

Zum Nachweis eventuell objektiv belegbarer, modellspezifischer Beanspruchungsunterschiede in der Muskulatur wurden bei allen Versuchen die elektromyographischen Aktivitäten (EA) von acht an der Texteingabe involvierten Muskeln bzw. Muskelteilen des rechten Hand-Arm-Schulter-systems (siehe Abb. 2) mit Hilfe des Noraxon TeleMyo 2400T G2 mit einer Abtastrate von 1500 Hz erfasst. Zur Ableitung wurden Ag/AgCl-Oberflächen-Elektroden verwendet und die Haut entsprechend der S2k-Leitlinie zur Oberflächen-Elektromyographie (OEMG) vor dem Kleben mit abrasiver Hautleitpaste behandelt (siehe u.a. Steinhilber et al., 2013). Nach Beendigung der Tests wurde die maximale isometrische Muskelkontraktion (MVC) der untersuchten Muskeln gemessen, auf deren Basis die Beanspruchungsdaten letztlich normiert wurden.

Bei der ausgewählten Muskulatur, welche für die Positionierung des Hand-Arm-Schulter-Systems bei der Schreibhaltung verantwortlich ist, handelt es sich vornehmlich um statisch aktivierte Muskeln (vgl. Strasser et al., 2004).



**Abbildung 2:** Lage der via OEMG abgeleiteten Muskeln des rechten Hand-Arm-Schulter-systems: 1) *m. biceps brachii*; 2) *m. flexor carpi ulnaris*; 3) *m. extensor carpi ulnaris*; 4) *m. trapezius pars descendens*; 5) *m. flexor carpi radialis*; 6) *m. extensor carpi radialis longus*; 7) *m. pronator teres*; 8) *m. extensor digitorum*.

Um mögliche Belastungen zu minimieren, die aus ungünstigen Körperhaltungen bei den Schreibarbeiten resultieren könnten, wurde der „Versuchsstand“ individuell auf die Probanden angepasst. Eine bequeme, günstige Sitzhaltung wurde durch die Höhenverstellbarkeit von Tisch und Stuhl – ggf. mit Verwendung einer Fußstütze – sowie durch den anpassbaren Neigungswinkel des Monitors sichergestellt.

Aufgrund der damit definierten Versuchsbedingungen bzgl. der Arbeitsaufgabe und der Körperhaltung war es möglich, die physiologischen Kosten jeder Schreibaufgabe modellspezifisch zu bestimmen und somit die einzelnen Tastaturen quantitativ zu vergleichen. Eine subjektive Befragung, die sich in ihrer Art auch schon in früheren Untersuchungen bewährt hat (siehe u.a. Keller & Strasser, 2004), bildete den Abschluss der Evaluierung.

Die Versuchspersonen hatten detailliert Aussagen bzgl. Handhabbarkeit und Schreibgeschwindigkeit sowie verschiedener Gestaltungsmerkmale, wie z.B. Tastengröße, -form und -abstand, aber auch zum Druckpunkt, zum Material und zur Verarbeitungsqualität zu treffen. Weiterhin sollten sie ihre empfundene physische Beanspruchung des Hand-Arm-Schulter-systems vor und nach der Schreibtätigkeit mit den drei unterschiedlichen ergonomischen Tastaturen bewerten. So waren mögliche körperliche Beschwerden an den Fingern, dem Handgelenk, dem Unter- und Oberarm sowie dem Schulter-, Nacken- und Rückenbereich zu quantifizieren.

Mit diesem Versuchsdesign konnte nicht nur ein differenzierter Einblick in die jeweilige Schreibsituation gewonnen sowie Schwachpunkte der verschiedenen Tastaturen identifiziert werden, sondern auch eine ganzheitliche, ergonomische Betrachtung des Arbeitsmittels sichergestellt werden.

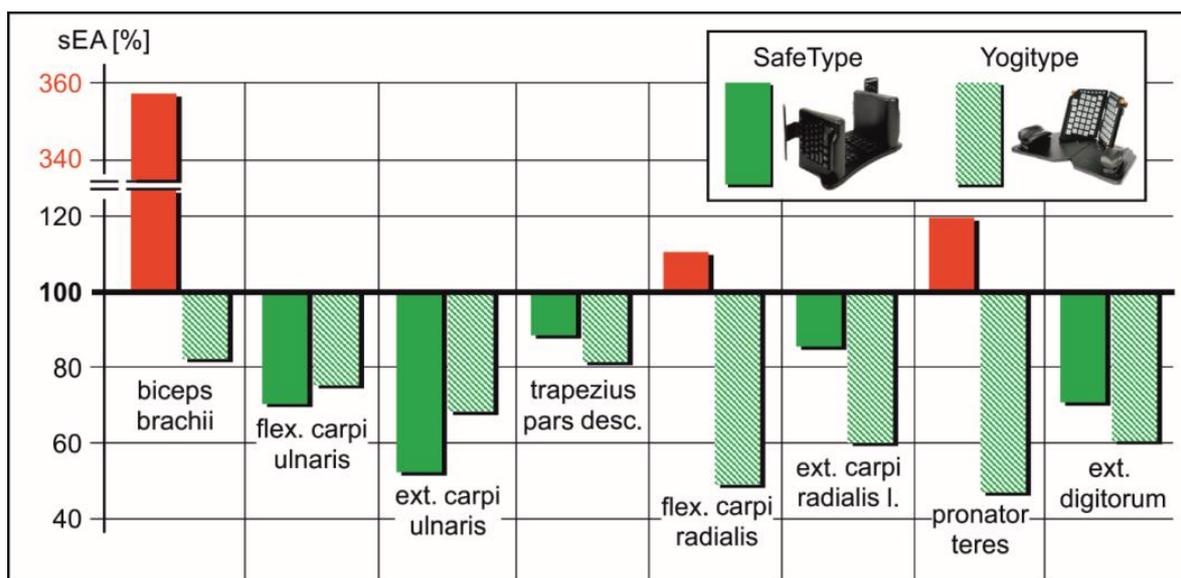
### 3. Ergebnisse

Da es sich bei Schreibtätigkeiten um verhältnismäßig leichte Arbeit handelt, welche die verschiedenen Muskeln des Hand-Arm-Schulter-systems sicherlich nicht bis an ihre Leistungsgrenzen beansprucht, waren keine substantiellen Unterschiede in den elektromyographischen Daten zu erwarten. Dennoch zeigten sich signifikante Unterschiede – auf Basis eines zweiseitigen t-Tests für verbundene Stichproben – zwischen den physiologischen Kosten, die beim Schreiben mit den jeweiligen Tastaturen „bezahlt“ werden mussten (siehe Abb. 3). Das sollte gerade bei einer täglich mehrstündigen Nutzung nicht außer Acht gelassen werden.

m. biceps brachii			m. flex. carpi ulnaris			m. ext. carpi ulnaris			m. trapezius pars d.		
	Safe	Yogi		Safe	Yogi		Safe	Yogi		Safe	Yogi
Micro	xxx	-	Micro	xx	-	Micro	xxx	xx	Micro	-	-
Safe		xxx	Safe		-	Safe		x	Safe		-
m. flex. carpi radialis			m. ext. carpi radialis			m. pronator teres			m. ext. digitorum		
	Safe	Yogi		Safe	Yogi		Safe	Yogi		Safe	Yogi
Micro	-	xx	Micro	-	xxx	Micro	x	xxx	Micro	xx	xxx
Safe		xxx	Safe		xxx	Safe		xxx	Safe		xx

**Abbildung 3:** Signifikanzanalyse der sEA-Werte aller Muskeln für die drei Tastaturen, n=12. (xxx: hoch signifikant; xx: signifikant; x: schwach signifikant; -: nicht signifikant)

Die Microsoft-Tastatur stellte in diesem Vergleich das Referenzmodell dar, mit dem sich die beiden Vertikaltastaturen messen lassen mussten. Abbildung 4 veranschaulicht den mit „Maß und Zahl“ quantifizierten Mehr- oder Minderaufwand der acht Muskelgruppen – im Vergleich zur Referenz – bei den Eingabetätigkeiten mit den jeweiligen Arbeitsmitteln.



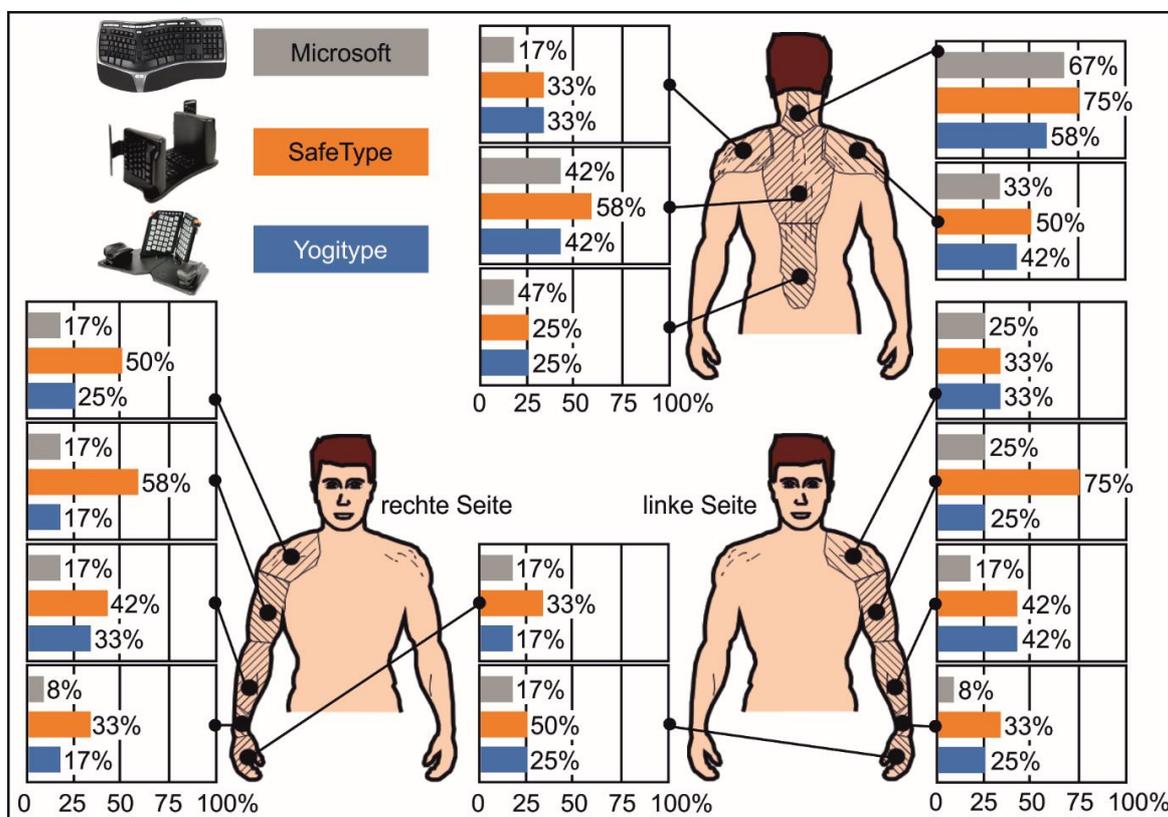
**Abbildung 4:** Standardisierte elektromyographische Aktivität (sEA) in % der gemessenen Muskeln bei der Nutzung der Vertikaltastaturen im Verhältnis zur Microsoft-Tastatur. Mittelwerte über 12 Probanden.

Es ist zu erkennen, dass die Nutzung der Yogitype-Tastatur bei allen Muskeln zu zum Teil hoch signifikant niedrigeren Beanspruchungen im Vergleich zur Microsoft-Tastatur führt. Die besten Ergebnisse erzielte die Yogitype bei den Muskeln flexor carpi radialis (*Funktion: Beugung und radiale Abduktion des Handgelenks*), extensor carpi radialis longus (*Beugung des Ellenbogens und Handstreckung*), pronator teres (*Einwärtsdrehung des Unterarms*) und extensor digitorum (*Streckung der Finger und der Hand*).

Das Schreiben mit der SafeType-Tastatur verursacht bei m. flexor carpi radialis und pronator teres sowie insbesondere bei m. biceps brachii (*Beugung und Einwärtsdrehung des Unterarms*) zum Teil deutlich höhere physiologische Kosten als die Referenz tastatur. Hoch signifikante Unterschiede konnten allerdings nur beim biceps brachii ausgewiesen werden. Den geringsten Einfluss zeigten die Vertikal-tastaturen auf den m. trapezius pars descendens (*Hochziehen und Fixieren der Schulter*). Für die Beanspruchung sowohl des flexor carpi ulnaris (*Beugung und ulnare Abduktion des Handgelenks*) als auch des extensor carpi ulnaris (*dorsale Beugung und ulnare Abduktion des Handgelenks*) stellt die SafeType-Tastatur die in diesem Vergleich beste Alternative dar.

In nachfolgender Abbildung 5 sind die Häufigkeiten der aufgetretenen körperlichen Beschwerden im Hand-Arm-Schulter- und Rückenbereich nach dem Schreiben mit den jeweiligen Tastaturen dargestellt. Da die empfundenen Beschwerden – bis auf wenige Einzelnennungen – durchschnittlich als lediglich „etwas“ bis „ziemlich“ stark beurteilt wurden, wird auf diese ergänzende Darstellung verzichtet.

Es zeigt sich, dass das Schreiben mit der SafeType-Tastatur am häufigsten Beschwerden in den visualisierten Körperbereichen verursachte. Vor allem im



**Abbildung 5:** Subjektive Beurteilung der körperlichen Beschwerden nach dem Schreiben an den verschiedenen Tastaturen. Relative Häufigkeit der Probanden ( $n = 12$ ), die überhaupt Beschwerden in den visualisierten Körperbereichen verspürten.

Nacken und Rücken sowie an den beiden Oberarmen wurden nach dem Schreiben von mehr als der Hälfte der Probanden leichte bis ziemlich starke Beschwerden verspürt. Die Nutzung der Microsoft Tastatur führt – mit Ausnahme des Nackenbereiches – zu den geringsten Beeinträchtigungen.

Bei der Beurteilung von Handhabbarkeit, Schreibgeschwindigkeit, Anordnung/Bedienbarkeit, Verarbeitungsqualität und der Tastaturhälften kann die ergonomische Horizontaltastatur ebenfalls punkten. Lediglich bzgl. des Druckpunktes der Tasten und des Platzbedarfs konnte die Yogitype-Tastatur bessere Bewertungen erzielen. Nach den Schreibversuchen würden sich sieben Probanden für den Kauf der Microsoft-, vier für die Yogitype- und lediglich einer für die SafeType-Tastatur entscheiden.

#### 4. Diskussion

Aus den ermittelten objektiven Daten bzgl. der elektromyographischen Aktivitäten ist durchaus erkennbar, dass die Vertikaltastaturen, die eine normale Handhaltung verlangen, einen positiven Einfluss auf die muskuläre Beanspruchung nahezu jedes an der Schreibarbeit beteiligten Muskels haben können, wenngleich die Unterschiede der absoluten sEA-Werte nur im Bereich weniger Prozentpunkte liegen. Da nach van Galen et al. (2007) vor allem die Muskeln extensor carpi ulnaris und flexor carpi ulnaris ein besonderes Risiko für die Entstehung von RSI besitzen, kann vermutet werden, dass durch die Nutzung der Vertikaltastaturen aufgrund der verminderten Beanspruchung der Muskeln ein geringeres Risiko für die Entstehung von RSI bestehen dürfte. Die im Vergleich zur Microsoft-Tastatur auffallend erhöhte Beanspruchung des m. biceps brachii bei Nutzung der SafeType-Tastatur, die sich auch in den subjektiven Beurteilungen der körperlichen Beschwerden (Oberarm) widerspiegelt, resultiert vornehmlich aus dem Nichtvorhandensein einer Armauflage und der somit fehlenden Unterstützung bei der Haltung des Unterarms.

Das überdurchschnittlich gute Abschneiden der Microsoft-Tastatur in der abschließenden subjektiven Befragung ist wohl auch auf die fehlende längerfristige Praxiserfahrung der Probanden mit den Vertikaltastaturen zurückzuführen. In weiterführenden Untersuchungen sollte daher eine längere Einarbeitungsphase vorgesehen werden, um bspw. gleiche Schreibgeschwindigkeiten sicherzustellen.

#### 5. Literatur

- DIN EN 527-1:2011-08, August 2011: Büromöbel – Büro-Arbeitstische – Teil 1: Maße. Beuth Verlag, Berlin-Köln-Frankfurt a.M.
- DIN EN ISO 9241-5:1999-08, August 1999: Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten – Teil 5: Anforderungen an Arbeitsplatzgestaltung und Körperhaltung. Beuth Verlag, Berlin-Köln-Frankfurt a.M.
- Keller E, Strasser H (2004) Estimated and experienced subjective assessment of the ergonomic quality of a keyboard. *Occupational Ergonomics* 4 (2): 121-131.
- Steinhilber B, Anders C, Jäger M, Läubli T, Luttmann A, Rieger MA, Scholle HC, Schumann NP, Seibt R, Strasser H, Kluth K (2013): S2k-Leitlinie zur Oberflächen-Elektromyographie in der Arbeitsmedizin, Arbeitsphysiologie und Arbeitswissenschaft. *Z.Arb.wiss.* 67 (2): 113-128.
- Strasser H, Fleischer R, Keller E (2004) Muscle strain of the hand-arm-shoulder system during typing at conventional and ergonomic keyboards. *Occupational Ergonomics* 4 (2): 105-119.
- Van Galen GP, Liesker H, de Haan A (2007) Effects of a vertical keyboard design on typing performance, user comfort and muscle tension. *Applied Ergonomics* 38 (1): 99-107.