

Diss. ETH ex. B

Diss. ETH Nr. 9919

**Motorische Konzepte und Bedienung von Tastaturen:
"Weglose" Flachtastaturen als Alternative zu Wegtastaturen**

ABHANDLUNG
zum Erlangen des Titels
DOKTOR DER NATURWISSENSCHAFTEN
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE
ZÜRICH

vorgelegt von
URS GUGGENBÜHL
BSc (Hons) MSc
geboren am 7. September 1955

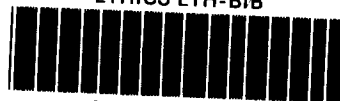
Angenommen auf Antrag von
Prof. Dr. Dr. H. Krueger, Referent
Prof. Dr. K. Bättig, Korreferent

Zürich, Oktober 1992



030E

ETHICS ETH-BIB



00100000337991

Zusammenfassung

In der industriellen Nutzung finden Flachtastaturen als Ersatz für konventionelle Tastaturen zunehmend Verbreitung. Sie sind kostengünstig in der Produktion, robust und leicht zu reinigen. Flachtastaturen weisen aus traditioneller ergonomischer Sicht Mängel auf. Hierzu gehört die Frage der fehlenden taktilen Rückkopplung. Eine Zusammenfassung der Literatur zeigt, dass bei geübten Tastaturbenutzern die taktile Rückkopplung für die effiziente Bedienung einer Tastatur unwichtig ist. Geübte Tastaturbenutzer bedienen die Tastatur anhand eines erlernten Motor-Programms. Rückkopplungen werden nur noch zur Ueberwachung und nicht zur Steuerung des Bewegungsablaufs herangezogen. Aus diesen Ueberlegungen formuliert sich eine erste Arbeitshypothese. Eine Tastatur kann auch ohne Tastenweg (kinästhetische Rückkopplung) effizient bedient werden.

Im weiteren stellt sich die Frage, ob und wie Einflüsse von der Tastatur das muskuloskeletale System beanspruchen. Einige Stellen in der Literatur weisen darauf hin, dass eine zu kurze Totzeit zwischen den Tasten oder eine zu kleine Stellkraft der Taste zu Verkrampfungen im Unterarm führt. Aus mechanischen Gründen kann der Tastaturbenutzer seinen Bewegungsablauf nur schwerlich an diese Bedingungen anpassen, und es treten vermehrt unkontrollierbare Fehler auf. Diese Unsicherheit führt zu Verkrampfungen im muskuloskeletalen System. Aus diesen Ueberlegungen formuliert sich die zweite Arbeitshypothese. Das muskuloskeletale System wird durch unvorhergesehene Einflüsse beim Schreiben auf einer Tastatur vermehrt beansprucht.

In 4 verschiedenen Experimenten werden diese beiden Fragestellungen untersucht. In den Experimenten 1, 2 und 3 werden jeweils 4 verschiedene numerische Tastaturen im Einfingerbetrieb gegeneinander verglichen. Die Tastaturen unterscheiden sich im wesentlichen zwischen mit und ohne Tastenweg, zwischen mit und ohne akustische wie taktile Rückkopplung, zwischen hoher und tiefer Stellkraft und zwischen langer und kurzer Totzeit zwischen den Tasten. Im 4. Experiment werden verschiedene Schlagfrequenzen (Tapping) verglichen. Das Eingeben von Zahlen mit einem Finger wird durch die Probanden auf jeder Versuchstastatur dreimal trainiert. Beim Test werden Leistung, Akzeptanz, Fingerbewegung und die Aktivität der Unterarmmuskeln (Elektromyogramm) erfasst.

Die Resultate zeigen deutlich, dass eine Tastatur auch ohne Tastenweg effizient bedienbar ist. Der Bewegungsablauf wird geplant und entfaltet sich als Motor-Programm. Solange das

Motor-Programm nicht gestört wird, werden Rückkopplungen nicht zur direkten Steuerung der Bewegung eingesetzt.

Beim Tippen wird eine Schlagbewegung (runter und rauf) mit einer Anschlagfrequenz zwischen 3 Hz bis 4 Hz bevorzugt. Dabei werden nur die Streckermuskeln (Extensoren) zur Bewegung des Fingers herangezogen. Bei Abweichungen von der "optimalen" Anschlagfrequenz steigt die Aktivität der Extensoren, und zusätzlich wird die Beugermuskulatur (Flexoren) im Unterarm aktiv. Die Gründe für diese Abweichungen sind ein zu schnelles Schreiben auf der Tastatur (weil man so will) sowie eine hohe Stellkraft und Unsicherheiten beim Bedienen der Tastatur. Anpassungen des Motor-Programms an veränderte Eingabebedingungen seitens der Tastatur sind in gewissem Masse möglich, ohne dass messbare Veränderungen im Bewegungsablauf und der Muskelaktivität festgestellt werden können. Bei grossen Veränderungen hingegen wird das motorische System überfordert und eine Abweichung vom optimalen Bewegungsablauf sowie eine erhöhte Beanspruchung der Unterarmmuskulatur resultiert. Unsicherheiten während der Eingabe führen sogar zu Kontraktionen der Antagonisten im Unterarm.

Die angewendete Methode eignet sich gut für vergleichende Messungen zwischen verschiedenen Tastaturtypen.

Summary

In industry flat keyboards have become more and more popular. They are cheap, robust and easy to clean. However, from an ergonomic point of view, they lack tactile feedback. A review of the literature shows that skilled keyboard operators don't necessarily need tactile feedback to use a keyboard efficiently. Skilled operators use a motor program to type. During typing, feedback is used to monitor typing actions but not to control the movement trajectory. From this a first hypothesis is defined: A keyboard can be used efficiently despite lack of key travel (kinesthetic feedback).

Furthermore the question of whether and by what means the use of a keyboard strains the musculoskeletal system arises. Some of the existing literature indicates that both inter-key dead time which is too short or a very small actuation force leads to high tension in the muscles of the lower arm. Due to mechanical limitations it is very difficult for an operator to adapt their movement trajectory under these conditions. Consequently the operator finds it difficult to type without mistakes. The uncertainty of how to handle these conditions leads to high tension in the musculoskeletal apparatus. From this a second hypothesis is defined. Unforeseeable influences while typing on a keyboard increasingly strain the musculoskeletal system.

In four different experiments these two hypothesis are tested. In Experiment 1, 2 and 3 four different numeric keypads using only one finger to type are compared with each other. The keypads differ as follows: Keypads with and without key travel, keypads with and without acoustic and tactile feedback, keypads with either a high or a low actuation force, keypads with either short or long inter-key dead times. Experiment 4 compares different tapping frequencies. Each subject participates in three training trials before he/she enters the test trial. During the test trial performance, acceptance, finger movements and the activity of the muscles in the lower arm (electromyogram) is measured.

The results show clearly that a keyboard can be used efficiently despite the lack of key travel. The movement trajectory is pre-planned and runs according to a motor program. As long as the motor program is not disturbed, feedback is not used to directly control the movement.

During typing, a typing rhythm of 3 Hz to 4 Hz is preferred. Typing within this frequency range only involves the extensor muscles which move the finger up and down. However, if a

deviation from the "optimal" frequency range occurs, then the extensor activity increases and the flexor muscles in the lower arm become active as well. The deviation is either caused by typing too fast (own choice), by an actuation force which is too high, or by uncertainty during typing. The motor program can adapt to some small changes in typing conditions without producing a measurable increase in muscular activity. However, if the changes are too large then the motor system is stressed, and deviations from the optimal typing rhythm, as well as an increase in muscular strain, result. Uncertainty during typing even leads to a co-contraction of the antagonists in the lower arm.

The applied method is a suitable method to compare different types of keypads.