

ANALYSE MANUELLER DIGITALISIERUNGSABLÄUFE MIT DEM KEYSTROKE-LEVEL MODELL

[Peter Haunold](#)

Technische Universität Wien
Gußhausstrasse 27-29/127 A- Wien
Fax: (+43 1) 504 3535

Inhalt:

- [Zusammenfassung](#)
- [Einleitung](#)
- [Das Keystroke-Level Modell](#)
- [Das Experiment](#)
- [Erste Ergebnisse](#)
- [Schluß](#)
- [Danksagung](#)
- [Literaturverzeichnis](#)

Zusammenfassung:

Grundlegende Bestandteile von GIS sind Datenbanken, in denen die Daten in digitaler Form vorhanden sind. Eine Frage von großer wirtschaftlicher Bedeutung ist dabei die Beschaffung der digitalen Daten. Besonders zeitaufwendig und kostenintensiv ist die Umbildung analoger graphischer Daten durch manuelles Digitalisieren. Eine Grundlage zur Suche nach Optimierungsmöglichkeiten für das Digitalisieren bietet eine Modellierung der dabei verwendeten Arbeitsschritte mit dem Keystroke-Level Modell. Dieses Modell eignet sich zur Prädiktion des Zeitaufwandes für einfache Aktionsabfolgen, die von geübten Benutzern zur Lösung von Einheitsaufgaben an einem Computersystem ausgeführt werden und erlaubt damit die Beurteilung von Routineabläufen. Da das Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen gegenwärtig mit dem Aufbau der Digitalen Katastralmappe (DKM) beschäftigt ist,

kann die Anwendbarkeit des Modells an einem konkreten Beispiel, der Vektorisierung am Bildschirm, untersucht werden. Dieser Artikel beschreibt neben den Modellgrundsätzen, der Planung und Durchführung einer Beobachtungsreihe als Teil eines Experiments die bis jetzt erzielten Ergebnisse. An einem konkreten Beispiel wird die Anwendung des Keystroke-Level Modells gezeigt und abschließend werden darauf aufbauende Folgerungen beschrieben.

1. Einleitung

Der Aufbau von Geo-Informationssystemen ist schwierig und benötigt viel Zeit. Eine Frage von großer wirtschaftlicher Bedeutung ist dabei die Datenerfassung. Neue Werkzeuge und Methoden, zum Beispiel die Fernerkundung (EOS), GPS-Messungen usw., liefern direkt digitale Eingabedaten. Die alten Datenbestände in analoger Form müssen jedoch erst durch komplizierte und zeitaufwendige Arbeitsprozesse in digitale Daten umgewandelt werden.

Probleme beim Aufbau von Datenbanken für Geo-Informationssystemen stellen die Methoden der Dateneingabe für Geometrie- und Sachdaten dar. Zur Zeit werden hauptsächlich Methoden benutzt, bei denen die Umwandlung von analogen in digitale Daten durch manuelles oder automatisches Digitalisieren geschieht. In den meisten Unternehmen ist immer noch manuelles Digitalisieren die meistgenutzte Methode um Karten- oder Plandaten aufzubereiten [Marble, Lauzon, & McGranaghan, 1984]. Die Verfahren zur automatischen Digitalisierung, z.B. Scannen und Vektorisieren, sind zur Zeit in Entwicklung und sind meist noch Prototypen [Crosilla, & Piccinini, 1991] oder liefern Daten, die wegen Datenqualitätsproblemen für eine direkte Eingabe in ein GIS nicht geeignet sind [Connealy, 1992]. Außerdem können diese Verfahren momentan nur in Ausnahmefällen wirtschaftlich eingesetzt werden. Für die Entwicklung der beim Digitalisieren verwendeten Benutzerschnittstellen, zum Beispiel der Menüs am Digitalisiertablett und am Bildschirm, werden Analysen der verwendeten Funktionen und der Gedankenmuster der Benutzer durchgeführt [Frank, in Press]. Durch Forschungsarbeiten im Bereich der Mensch-Computer Interaktion wurden in den letzten Jahren zahlreiche Methoden zur Untersuchung und Entwicklung von Benutzerschnittstellen gefunden. Eines dieser Modelle ist das Keystroke-Level Modell, das 1980 entwickelt wurde [Card, Moran, & Newell, 1980a; Card, Moran, & Newell, 1980b]. Es eignet sich zur Prädiktion des Zeitaufwandes für einfache Routinefunktionen, die von geübten Benutzern zur Lösung standardisierter Aufgaben angewandt werden. Dazu wird jede Funktion in Arbeitsschritte auf Tastenanschlagsebene zerlegt. Mit dem Keystroke-Level Modell kann der Zeitbedarf für diese Funktionen prädiziert werden. Über die Prädiktion kann bestimmt werden, wo bei der Ausführung einer Aufgabe die meiste Zeit benötigt wird. Anschließend können mit dem Modell Ansätze zur Optimierung geschaffen werden. Im Bereich der Textverarbeitung wurden diese Untersuchungen erfolgreich durchgeführt [Card, Moran, & Newell, 1983].

Das Ziel eines gemeinsamen Projekts der TU-Wien und des Bundesamts für Eich- und Vermessungswesen ist, das Keystroke-Level Modell als Optimierungsgrundlage für manuelles Digitalisieren zu untersuchen. Im speziellen Fall geschieht dies an der im Aufbau befindlichen digitalen Katastralmappe (DKM) für das Vektorisieren am Bildschirm. Die Anwendbarkeit des Modells wird durch einen Vergleich der mit dem Keystroke-Level Modell vorhergesagten Zeiten und der aus Beobachtungen gemessenen Zeiten untersucht.

Bei der Ausarbeitung des Projekts wurde davon ausgegangen, daß die Arbeitsabläufe für das Digitalisieren der Katastralmappe im Bundesamt sorgfältig geplant und durch Pilotversuche optimiert

worden sind. Das Hauptziel dieser Arbeit ist, einen ganz speziellen Aspekt des Digitalisierens zur Erfassung geometrischer Daten [Kuhn, 1990a; Kuhn, 1990b] zu untersuchen, nämlich die elementaren Arbeitsschritte am Gerät und deren Zeitbedarf. Es handelt sich hierbei um kleinste Einheiten, wie das Anzielen eines Punktes, das Drücken einer Taste zur Erfassung der Koordinaten, oder das Bewegen der Hand zwischen Tastatur und Cursor, die jeweils nur einige Zehntelsekunden beanspruchen, aber in sehr großer Zahl wiederholt werden. Daraus ergibt sich die große wirtschaftliche Bedeutung allfälliger Optimierungsmöglichkeiten [Haunold, & Kuhn, 1993].

Im Folgenden werden die Grundsätze des Keystroke-Level Modells, das zur Verifizierung des Modells notwendige Experiment und erste Untersuchungsergebnisse beschrieben.

2. Das Keystroke-Level Modell

Das Keystroke-Level Modell ist ein einfaches Werkzeug, mit dem die Zeit, die zur Lösung einer Aufgabe durch routinierte Benutzer benötigt wird, präzifizierbar ist. Die grundsätzliche Idee des Modells ist, daß die Zeit, die ein Experte zur Durchführung einer bestimmten Aufgabe braucht, durch die Summe der Zeiten, die für einzelne Tastenanschläge benötigt werden, bestimmt ist. Dazu muß man die Abfolge kennen, die Anzahl der Anschläge zählen und mit der Zeit für einen Anschlag multiplizieren, um die gesamte Zeit zu berechnen. Diese Grundidee ist natürlich insofern zu ergänzen, als noch andere Operationen, wie das Anzielen, das mentale Vorbereiten und verschiedene Handbewegungen zur Aufgabenlösung notwendig sind und daher addiert werden müssen [Card, Moran, & Newell, 1983]. Eine Voraussetzung zur Anwendung des Keystroke-Level Modells ist die Auflösung von Funktionen in fehlerfreie, sich wiederholende Arbeitsschritte auf Tastenanschlagebene. Es werden fehlerhafte Ausführungen vernachlässigt und nur fehlerfreie Abfolgen zur Prädiktion herangezogen, da nicht vorhersagbar ist, wann und wie oft ein Fehler begangen wird. Erfahrungsgemäß machen geübte Benutzer bei Routineaufgaben kaum Fehler, sodaß ihre Vernachlässigung nicht ins Gewicht fällt (gleichzeitig beschränkt dies natürlich die Anwendbarkeit des Modells). Eine weitere Voraussetzung ist, daß die verwendeten Funktionen in standardisierte Abfolgen von Arbeitsschritten zerlegt werden können.

2.1. Die Zeitprädiktion

Die Zeitprädiktion ermöglicht, den Zeitbedarf der Aktionsabfolgen einer Einheitsaufgabe zu bestimmen, ohne diese beobachten zu müssen. Dadurch können verschiedene Einheitsaufgaben, die zur selben Lösung führen verglichen und gegebenenfalls optimiert werden. Das Prädiktionsproblem ist folgendes:

Gegeben sind: Eine Aufgabe, die Kommandosprache des Systems, die motorischen Fähigkeiten des Benutzers, die Antwortzeiten des Systems und die verwendeten Aktionen.

Vorhergesagt werden: Die Zeit, die routinierte Benutzer zur Lösung der Aufgabe benötigen, vorausgesetzt, sie führen die Aktionen aus, ohne einen Fehler zu machen.

Wenn eine komplizierte Aufgabe zu lösen ist, wird man sie in kleinere "Einheitsaufgaben" unterteilen, die quasi unabhängig voneinander sind. Der Zeitbedarf für die Lösung dieser Einheitsaufgaben setzt sich

aus der Zeit, die zum Erkennen (acquire) der Aufgabe und zum Ausführen (execute) gebraucht wird, zusammen. Die Gesamtzeit für eine Einheitsaufgabe ist dann die Summe dieser beiden Teile:

$$T_{task} = T_{acquire} + T_{execute} \quad (2.1)$$

Das Erkennen der Aufgabe ist im allgemeinen ein sehr komplexer Prozeß und kann mit dem Keystroke-Level Modell nicht erfaßt werden [Card, Moran, & Newell, 1983]. Das Modell läßt sich also nur auf Arbeitsabläufe anwenden, die routinemäßig ausgeführt werden.

2.2. Die Modelloperatoren

Das Modell arbeitet mit einfachen Operatoren auf Tastenanschlagsebene. Die Ausführung einer Aufgabe kann durch vier physikalisch-motorische Operatoren einen mentalen Operator des Benutzers und einen systeminternen Operator bestimmt werden (siehe Abb. 2.1). Die Gesamtzeit für das Durchführen einer Aufgabe ist dann die Summe aus den Zeiten jedes Operators:

$$T_{execute} = TK + TP + TH + TD + TM + TR \quad (2.2)$$

Für die Operatoren K, P, H und D werden jeweils konstante Ausführungszeiten angenommen.

Operator	Description and Remarks	Time (sec)
K	Keystroke or button press. Pressing the SHIFT or CONTROL key counts as a separate K operation. Time varies with the typing skill of the user; the following shows the range of typical values: Best typist (135 wpm) Good typist (90 wpm) Average skilled typist (55 wpm) Average non-secretary typist (40 wpm) Typing random letters Typing complex codes Worst typist (unfamiliar with keyboard)	.08 .12 .20 .28 .50 .75 1.20
P	Pointing to a target on a display with a mouse. The time to point varies with the distance and target size according to Fitt's Law. The time ranges from 0.8 to 1.5 sec, with 1.1 being an average time. This operator does not include the button press that often follows (0.2 sec).	1.10
H	Homing the hand(s) on the keyboard or other device.	.40
D(n_D, l_D)	Drawing (manually) n_D straight-line segments having a total length of l_D cm. This is a very restricted operator; it assumes that drawing is done with the mouse on a system that constrains all lines to fall on a square 0.56 cm grid. Users vary in their drawing skill; the time given is an average value.	$.9n_D + .16l_D^e$
M	Mentally preparing for executing physical actions.	1.35
R(t)	Response of t sec by the system. This takes different times for different commands in the system. These times must be input in the model. The response time counts only if it causes the user to wait.	t

Abb.1. Die Operatoren des Keystroke-Level Modells [Card, Moran, & Newell, 1980b]

Der Operator K

Der am häufigsten benutzte Operator ist K, der einen Tastenanschlag oder einen Knopfdruck auf der Maus oder dem Cursor darstellt. Er bezieht sich nur auf Tasten und nicht auf Buchstaben oder Zahlen. Daher ist das Drücken der "shift"- oder "control"-Taste als eigenes K zu zählen [Card, Moran, & Newell, 1980b]. Die Gesamtzeit der zur Lösung einer Aufgabe verwendeten Tastenanschläge TK wird mit:

$$TK = nKtK$$

berechnet. Dabei ist n_K die Anzahl der Tastenanschläge und t_K die Zeit für einen Anschlag.

Der Operator P

Der Operator P beschreibt das Anzielen eines Punktes am Bildschirm mit der Maus. Die Zeit für das Zielen, t_P , ist von der Entfernung zum Ziel, d , und der Größe des Ziels, s , abhängig und kann nach dem Gesetz von Fitts (Fitts's Law) [Card, English, & Burr, 1978]:

$$t_P = 0.8 + 0.1 \log_2 (d/s + 0.5) \text{ sec}$$

berechnet werden (siehe Abb. 2.1.).

Der Operator H

Bei der Verwendung verschiedener Eingabegeräte müssen Benutzer ihre Hand von einem zum anderen bewegen. Diese Handbewegung wird durch den Operator H beschrieben. Dieser kann mit einer konstanten Zeit t_H von 0.4 sec. für jede Handbewegung zwischen zwei beliebigen Geräten angenommen werden [Card, English, & Burr, 1978; Card, Moran, & Newell, 1980a].

Der Operator D

Der Operator D beschreibt das manuelle Zeichnen von einer Menge gerader Linien mit der Maus. D hat zwei Parameter, die Anzahl der Linien, n_D , und die gesamte Länge aller Linien, l_D . Ein Mittelwert dafür kann mit

$$t_D = 0.9n_D + 0.16l_D$$

angegeben werden (siehe Abb.1.).

Der Operator M

Benutzer benötigen Zeit zum "mentalen Vorbereiten" (mentally preparing), um die vier beschriebenen physikalischen Operatoren durchführen zu können. Dieses mentale Vorbereiten wird durch den Operator M beschrieben, welcher im Durchschnitt mit 1.35 sec. angegeben werden kann. Er repräsentiert die mentalen Vorbereitungsphasen für die folgenden physikalischen Operatoren. Das Keystroke-Level Modell gibt eine Reihe von Regeln für die Platzierung dieses Operators in einer Einheitsaufgabe an [Card, Moran, & Newell, 1980b].

Der Operator R

Der letzte Operator, den das Keystroke-Level Modell verwendet, ist R, die Antwortzeit des Systems in Sekunden. Diese Antwortzeit ist aber unterschiedlich für verschiedene Systeme, verschiedene Befehle und verschiedene Zusammenhänge. Das Keystroke-Level Modell ermöglicht keine konkreten Aussagen über die systeminterne Wartezeit. Diese muß daher gemessen werden.

Ein Beispiel aus der Textverarbeitung (Task T1-Poet) soll die Verwendung der Operatoren und die Prädiktion zeigen. Das Ersetzen eines Wortes mit fünf Buchstaben mit einem anderen Wort mit fünf Buchstaben eine Zeile oberhalb geschieht folgendermaßen [Card, Moran, & Newell, 1980b]:

mit dem Editor Poet (zeilenorientiert):

Jump to next line	MK [LINEFEED]
Call Substitute Command	MK [S]
Specify new 5-digit word	5K [word]
Terminate argument	MK [RETURN]
Specify old 5-digit word	5K [word]
Terminate argument	MK [RETURN]
Terminate command	K [RETURN]

mit den Operatoren aus Abb. 1. und $tK = 0.2$ sec kann die Zeit für diese Funktion präzisiert werden mit:

$$T_{\text{execute}} = 4tM + 15tK = 8.4 \text{ sec.}$$

3. Das Experiment

Das Keystroke-Level Modell wird als Grundlage für Optimierungsansätze für manuelles Digitalisieren untersucht. Um feststellen zu können, wie gut das Modell den tatsächlichen Zeitbedarf präzisieren kann, wurde ein Experiment durchgeführt. Dabei wurden die vorhergesagten Zeiten für einige ausgewählte Aufgaben beim Vektorisieren am Bildschirm mit den tatsächlich festgestellten Zeiten verglichen. Zusätzlich konnte die spezifische Zeitkonstante des neuen Operators KC, Tastendruck am Cursor, bestimmt werden. Die folgenden Kapitel beschreiben neben den notwendigen Voruntersuchungen die Planung, Durchführung und Auswertung des Experiments.

3.1. Voruntersuchungen im Bundesamt

Die im Bundesamt am meisten verwendete Umbildungsmethode, die Vektorisierung am Bildschirm [BEV, 1991], wurde auf das Vorhandensein standardisierter Abfolgen von Arbeitsschritten untersucht. Bei den insgesamt 80 gefundenen Aufgaben handelt es sich hauptsächlich um solche für die Eingabe von Grenzen (Grundstücke, Häuser, Nutzungen und sonstige), von Grundstücksnummern und von Nutzungssymbolen. Weitere Aufgaben, wie Verändern des Bearbeitungsmaßstabs, Verschieben der zu bearbeitenden Ausschnitte und allgemeine Kopier- und Korrekturvorgänge sind in den 80 Aufgaben ebenfalls berücksichtigt.

Die für das Digitalisieren charakteristischen und am häufigsten verwendeten Aufgaben wurden ausgewählt und als Einheitsaufgaben definiert. Es sind dies das Digitalisieren von Grenzen, Symbolen und Grundstücksnummern. Dazu kommen noch einige wichtige allgemeine Bearbeitungsfunktionen. Dadurch bleiben 38 zu untersuchende Einheitsaufgaben übrig. Diese 38 Einheitsaufgaben lösen jedoch 90 bis 95% aller Aufgaben.

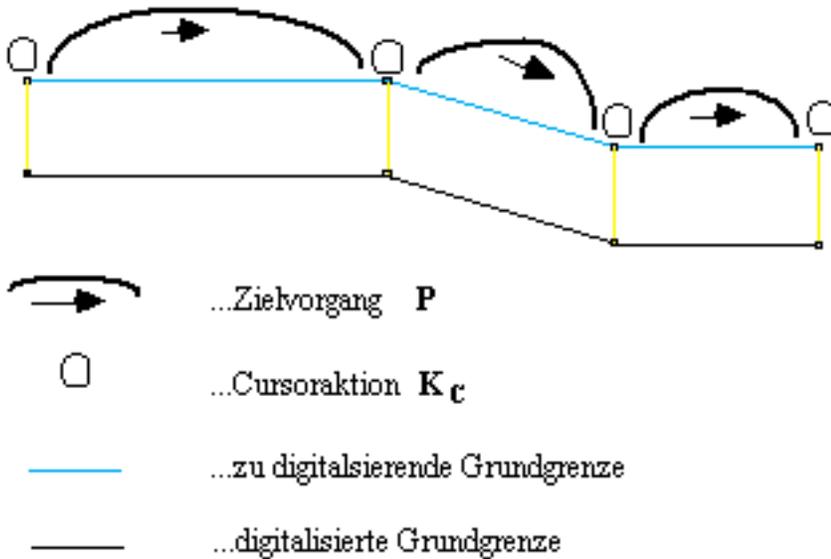


Abb. 3. Setzen von Knickpunkten beim Digitalisieren einer Grundgrenze

Danach wurden alle Aufgaben, soweit durch die Beobachtungen möglich, in ihre einzelnen Aktionsabfolgen zerlegt. Dabei handelt es sich um Tastenanschläge auf der Tastatur KT und am Cursor KC, Zielvorgänge mit dem Cursor P, mentales Vorbereiten M, Systemzeiten R und die Handbewegungen zwischen Tastatur und Cursor H. Zum Beispiel wurde für die Aufgabe "Setzen eines Knickpunkts beim Digitalisieren einer Grundgrenze" (siehe Abb. 3) folgende Abfolge gefunden:

Anzielen eines Knickpunkts **P**

Setzen des Grenzpunkts **KC**[Cursorbutton 0]

Die prädierte Zeit kann mit den Operatoren aus Abb. 2 ($t_K = 0.28 \text{ sec}$) berechnet werden:

$$T_{\text{execute}} = t_P + = 1.38 \text{ sec}$$

3.2. Planung der Beobachtungsreihen und des Versuchsaufbaus

Die Erfassung der beim Digitalisieren tatsächlich benötigten Zeiten konnte zur Gänze im Bundesamt durchgeführt werden. Dazu wurden routinierte Beobachter in ihrer gewohnten Arbeitsumgebung beobachtet. Außerdem war eine genaue Planung des Versuchsaufbaus und der Beobachtungsreihe hinsichtlich der zur Verfügung stehenden Hard- und Software und der Eindeutigkeit der Meßdaten nötig. Das Bundesamt verwendet zum Aufbau der digitalen Katastralmappe ein Programm auf der Basis von AUTOCAD Version 11.0. Dieses ist auf IBM PS/2-80 Computern (386er Prozessor mit Coprozessor) installiert. Als Digitalisiertabletts werden Houston HIPAD PLUS Tabletts mit einem 16-Tasten Cursor verwendet. Die Digitalisierung selbst erfolgt auf einem 20" Bildschirm (Sony GDM 1950). Der Versuchsaufbau mußte einen ungestörten Produktionsablauf während der Beobachtungsphasen gewährleisten. Durch diese Vorgabe

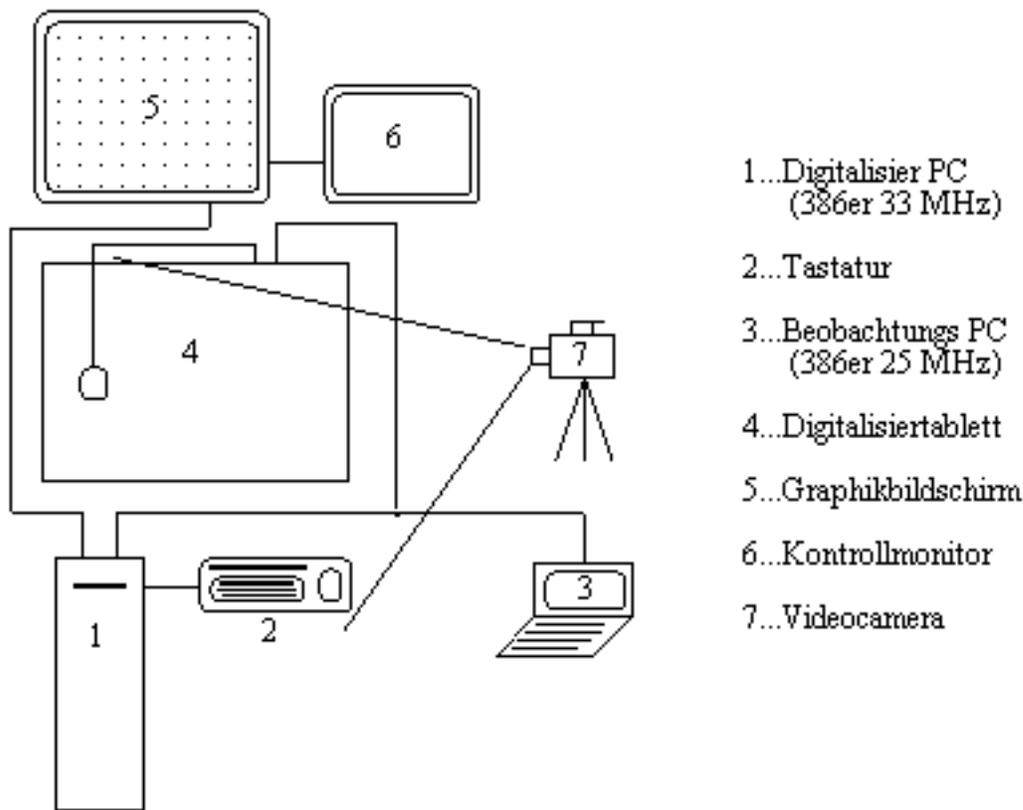


Abb. 4 Darstellung des Versuchsaufbaus

entstand ein Unterschied zum Experimentaufbau von [Card, Moran, & Newell, 1980b], die immer dieselben Abläufe unter Testbedingungen beobachten konnten [Card, Moran, & Newell, 1980b]. Die Planung war daher dahingehend auszurichten, daß über einen vorgegebenen Beobachtungszeitraum alle ausgeführten Aktionen erfaßt werden. Der Versuchsaufbau selbst wurde dann auf Grund dieser Vorgaben realisiert und wird in Abbildung 4 dargestellt.

In erster Linie war die Qualität der erhaltenen Zeitmarken zu berücksichtigen, da die Aktionen nur wenige Zehntelsekunden dauern. Es mußte gewährleistet werden, daß eine Aktion am Cursor oder auf der Tastatur eine genau zuordenbare Zeitmarke (Genauigkeit besser als 1/10 Sekunde) erhält. Für diese Zeitmarken mußte eine eindeutige Verknüpfung mit den zugehörigen Aktionen am Cursor oder auf der Tastatur gegeben sein. Zusätzlich waren die Cursorkoordinaten zum Zeitpunkt einer Cursoraktion festzuhalten.

Erste Überlegungen über den alleinigen Einsatz von Videoaufzeichnungen wurden auf Grund der Zeitdauer, der Anzahl der Aktionen und der daraus resultierenden Auswerteprobleme verworfen. Stattdessen wurde ein Programm zur Erfassung der Zeitmarken entwickelt. Das Programm durfte aber das vom Bundesamt verwendete AUTOCAD-Programm und den Arbeitsablauf beim Vektorisieren nicht stören.

Dieses Problem wurde durch ein selbst entwickeltes, in C++ geschriebenes Programm gelöst. Es wurde auf einem externen Computer (Laptop) installiert. Dieser wurde hardwaremäßig über eine Schnittstellenweiche in die Leitung zwischen Digitalisiertablett und Rechnereinheit gehängt. Die Aufgabe des Programms war das bei einem Tastendruck am Cursor gesendete Signal zu speichern. Zusätzlich wurde jedes registrierte Signal mit einer fortlaufenden Zeitmarke der systeminternen Uhr versehen. Die Tastaturaktionen konnten aus finanziellen Gründen (Anschaffung einer "Blackbox" zur Aufspaltung des Tastatursignals ca. öS 35.000.-) nur anzahlsmäßig durch Mitschreiben auf der Tastatur des Laptops registriert werden. Zur Feststellung des Zeitbedarfs einer Tastaturaktion KT und der Zeiten

für H (Homing) waren zusätzliche Videoaufzeichnungen notwendig.

3.3. Durchführung der Beobachtungen

Nach einer zweitägigen Testphase im Dezember 1992 wurde das Experiment Anfang Jänner 1993 durchgeführt. Während der Testphase wurden sowohl das Programm als auch die Hardwarekonfiguration auf Stabilität geprüft. Zusätzlich konnten die dabei erhaltenen Daten einer ersten Testauswertung unterzogen werden. Es stellte sich heraus, daß das Programm geringfügig zu ändern war, um schneller auswertbare Ergebnisse zu erhalten.

Für das eigentliche Experiment wurden sieben Bearbeiter jeweils zwei bis dreieinhalb Stunden beobachtet. Dabei wurden von den Bearbeitern zuerst Grenzlinienzüge und Hausgrenzen digitalisiert, dann wurden die Nutzungssymbole und die Grundstücksnummern plaziert.

Bei den sieben Beobachtungsreihen wurden ca. 30.000 Aktionen registriert und mit Zeitmarken versehen. Dies entspricht ungefähr 15.000 ausgeführten Funktionen. Zusätzlich wurden während der gesamten Beobachtungsdauer Videoaufzeichnungen gemacht. Bei den ersten vier Bearbeitern war die Kamera die gesamte Zeit auf das Digitalisiertablett und die Tastatur gerichtet. Bei den drei letzten Beobachtungsreihen wurde die Kamera für die Dauer des Grenzliniendigitalisierens auf den Graphikbildschirm gerichtet. Dadurch sollen die Zeiten für den Operator R bestimmt und die Zeiten für P und M überprüft werden können. Erst bei der Digitalisierung der Nutzungssymbole und der Grundstücksnummern wurden wieder die Aktionen auf dem Tablett und der Tastatur zur Bestimmung von KT und H gefilmt.

3.4. Auswertung

Die Auswertung erfolgte ausschließlich mit dem Tabellenkalkulationsprogramm Excel Version 3.0 auf einem Macintosh Quadra 700. Voraussetzung dafür war die Konvertierbarkeit der im PC-Format und als Textfiles gespeicherten Beobachtungswerte.

Der erste Schritt der Auswertung war, aus den Aktionsabfolgen die verwendeten Aufgaben zu bestimmen und die Gesamtzeit dafür zu berechnen. Diese Zusammenfassung war durch die Voruntersuchungen möglich, da für jede Aufgabe die genaue Abfolge der Cursor- und Tastaturanschläge angegeben werden konnte. Dabei konnten alle Aktionen eindeutig ihren Aufgaben zugeordnet werden, wodurch die sehr genaue Planung des Versuchaufbaus und der Beobachtungsreihen gerechtfertigt wurde.

Der zweite Auswertungsschritt, die Selektion und statistische Analyse der Einheitsaufgaben, ist zur Zeit noch nicht abgeschlossen. Er dient der Bestimmung der Verteilungsfunktionen, um die Genauigkeit und Aussagekraft der gemessenen Zeitwerte bestimmen zu können. Auf den Verteilungsfunktionen aufbauend können die Zeiten für die Einheitsaufgaben berechnet werden.

Die weiteren Auswertungen sollen den Vergleich der gemessenen und prädierten Zeiten ermöglichen und werden in ca. 3-4 Wochen abgeschlossen sein.

4. Erste Ergebnisse

Die Auswertung der Videoaufnahmen ergab, daß einige Einheitsaufgaben voneinander abhängig sind. Die Abhängigkeit von Aufgaben war vorallem zu beobachten, wenn Bildschirmfunktionen

(ZOOM/PAN) ausgeführt wurden. Durch das Verändern des Bildschirmausschnitts muß sich der Bearbeiter neu orientieren, wodurch ein mentaler Operator M zur nachfolgenden Aufgabe zu addieren ist. Beim Digitalisieren von Linien ohne ausgeprägten Knickpunkt konnte eine vom Normalfall abweichende Zielweise beobachtet werden. Üblicherweise wird ein gut erkennbarer Knickpunkt mit dem Cursor angezielt und durch einen Tastendruck am Cursor bestätigt. In schwierigen Fällen zieht der Bearbeiter die Linie über den vermuteten Knickpunkt hinaus, um diesen besser zu erkennen. Es folgt ein zweiter Zielvorgang P2, der durch weitere Auswertungen der Videoaufnahmen bestimmt wird und gegebenenfalls zur normalen Aktionsabfolge addiert wird. Zusätzlich konnte der für einen Tastendruck am Cursor neudefinierte Operator KC mit $= 0.30 \text{ } 0.03 \text{ sec}$ bestimmt werden. Dieser Wert konnte für einen Bearbeiter in allen ausgeführten Aufgaben (ca. 2000) beobachtet werden.

Die aus der ersten und teilweise durchgeführten zweiten Auswertung erhaltenen Ergebnisse lassen auf eine sehr gute Übereinstimmung der gemessenen und prädierten Zeiten schließen. Dies gilt insbesondere für die Bildschirmfunktionen und einfache Linienzüge sowie für Symbolfunktionen.

Erste Histogramme lassen vermuten, daß nur bei einigen Einheitsaufgaben, wie den Bildschirmfunktionen (ZOOM/PAN), normalverteilte Zeiten vorhanden sind. Für den allgemeinen Fall ist sowohl durch die Abhängigkeit einzelner Aufgaben als auch durch das Vorhandensein verschiedener Aktionsabfolgen eine Überlagerung annähernd normalverteilter Ereignisse wahrscheinlich. Diese Hypothese wird für den allgemeinen Fall zur Zeit mit statistischen Tests geprüft [Cressie, 1991; Koch, 1987].

Zur Veranschaulichung eines Vergleichs einer prädierten mit einer gemessenen Zeit wird als Beispiel die Einheitsaufgabe "Setzen eines Knickpunkts beim Digitalisieren einer Grundgrenze" (vgl. Abb. 3.) angegeben.

Die Operatoren des Keystroke-Level Modells sind:

Anzielen eines Knickpunkts **P**

Setzen des Grenzpunkts **KC**[Cursorbutton 0]

mit den Operatoren aus Abb.1. und $= t_{KC} 0.30 \text{ sec}$, ermittelt durch die Auswertung der Videoaufnahmen, kann die Zeit für diese Aufgabe prädiert werden mit:

$$T_{execute} = t_P + t_{KC} = 1.40 \text{ sec} .$$

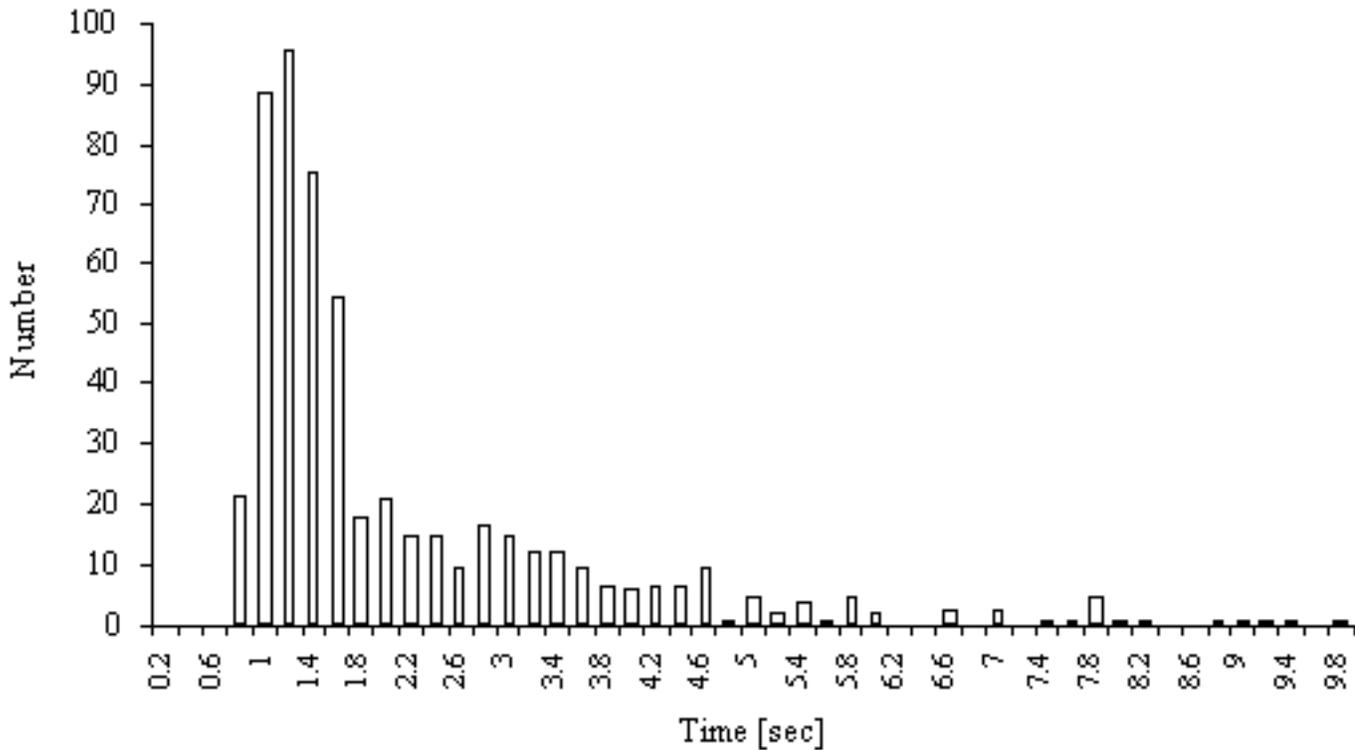


Abb. 5. Histogramm der untersuchten Einheitsaufgabe

Die Abbildung 5 zeigt die Verteilungsfunktion der gemessenen Zeiten. Der mittlere Wert (Median) von 570 für diese Aufgabe gemessenen Zeiten ergibt 1.42 sec. Ein Vergleich mit dem Mittelwert $m = 2.28$ sec beweist, daß es sich um keine Normalverteilung handelt. Die Hypothese ermöglicht jedoch die Verteilungsfunktion als Verknüpfung zweier Einheitsaufgaben zu betrachten.

Die erste Einheitsaufgabe ist wiederum das "Setzen eines Knickpunkts beim Digitalisieren einer Grundgrenze". Für sie wird eine annähernde Normalverteilung im Bereich von 0.0 bis 2.4 sec angenommen. Damit errechnet sich der gemittelte Zeitbedarf dieser Aufgabe mit 1.25 ± 0.36 sec. Der Vergleich mit dem prädierten Wert von 1.40 sec ergibt eine Differenz von 11%.

Als zweite Einheitsaufgabe wird die Aufgabe "Setzen eines Knickpunkts beim Digitalisieren einer Grundgrenze" in Abhängigkeit einer vorhergegangenen Bildschirmfunktion (ZOOM/PAN) betrachtet. Die Operatoren des Keystroke-Level Modells sind dann:

- Orientierung am neuen Bildschirmausschnitt **M**
- Anzielen eines Knickpunkts **P**
- Setzen des Grenzpunkts **KC**[Cursorbutton 0]

mit den Operatoren aus Abb. 2.1. und $t = 0.30$ sec ergibt diese Abfolge eine prädierte Zeit von:
 $T_{execute} = T_{execute} = t_M + t_P + T_{kc} = 2.75$ sec

Der gemittelte Zeitbedarf für diese Aufgabe im Bereich 2.0 bis 4.0 sec ist 2.98 ± 0.52 sec. Die Differenz zum prädierten Wert von 2.75 sec beträgt 8%.

Beide Vergleiche des prädierten und gemessenen Zeitbedarfs liefern ein annehmbares Ergebnis, da die Abweichungen von acht und elf Prozent im Rahmen der bei Untersuchungen in der Textverarbeitung erhaltenen Werte liegen [Card, Moran, & Newell, 1983].

5. Schluß

Das Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen ist zur Zeit mit dem Aufbau der digitalen Katastralmappe (DKM) beschäftigt. Die Umbildung der analogen Informationen in digitale Informationen geschieht durch manuelles Digitalisieren gescannter Mappenblätter. Da manuelles Digitalisieren ein zeitaufwendiger und kostspieliger Prozeß ist, wurde eine Möglichkeit zur weiteren Optimierung gesucht.

Das Keystroke-Level Modell konnte für Textverarbeitungsaufgaben erfolgreich angewandt werden. Es eignet sich zur Prädiktion von Aktionsabfolgen auf Tastenanschlagsebene, die von routinierten Benutzern für standardisierte Aufgaben ausgeführt werden. Für eine Umbildungsmethode im Bundesamt, das Vektorisieren am Bildschirm, konnten 38 Einheitsaufgaben definiert werden.

Das Ziel eines gemeinsamen Projekts des Bundesamts und der TU-Wien ist die Anwendbarkeit dieses Modells als weitere Optimierungsgrundlage nachzuweisen. Dazu wurde ein Experiment zum Vergleich der gemessenen und prädizierten Zeiten durchgeführt. Dabei ist es durch einen sorgfältig geplanten Versuchsaufbau gelungen, eindeutig auswertbare Beobachtungsreihen unter Produktionsbedingungen im Bundesamt zu erhalten. Dieser Umstand ist besonders zu erwähnen, da bisherige Untersuchungen nur unter Laborbedingungen durchgeführt wurden [Arend, 1990; Card, Moran, & Newell, 1983].

Die bisherigen Auswertungen und Ergebnisse zeigen, daß das Keystroke-Level Modell für manuelles Digitalisieren anwendbar ist. Für eine bereits ausgewertete Einheitsaufgabe konnte eine sehr gute Übereinstimmung der prädizierten und gemessenen Zeiten gezeigt werden. Die Hypothese der Überlagerung annähernd normalverteilter Funktionen kann für diese Einheitsaufgabe angenommen werden.

Zur Verifizierung der Hypothese für andere Einheitsaufgaben müssen im Rahmen der Auswertungen weitere statistische Tests durchgeführt werden. Bei Annahme der Hypothese der Überlagerung annähernd normalverteilter Einheitsaufgaben können geänderte Aktionsabfolgen für einige Einheitsaufgabe und Abhängigkeiten untereinander definiert werden. Daher müssen einige Modelloperatoren und die aus den Voruntersuchungen bestimmten Aktionsabfolgen eingehender untersucht und eventuell neu bestimmt werden.

Bei den Operatoren des Keystroke-Level Modells bieten sich durch spätere Untersuchungen [Card, Moran, & Newell, 1983] sowohl neue als auch geänderte Zeitwerte an [John, & Newell, 1989; Olson, 1987; Olson, & Nilsen, 1988; Walker, Smelcer, & Nilsen, 1991]. Für manuelles Digitalisieren sind dies der Operator KC für einen Tastendruck am Cursor und der Operator P2 für einen zweiten Zielvorgang. Der Operator KC konnte durch eine Auswertung der Videoaufzeichnungen bereits mit $= 0.30$ sec bestimmt werden.

Danksagung

Der Autor bedankt sich bei Präsident Dipl.-Ing. Hrbek, HR Dipl.-Ing. Zimmermann (Abt. P3), OR Dipl.-Ing. Hochwartner, Dipl.-Ing. Muggenhuber (beide Abt. K1) und OR Dipl.-Ing. Stöhr (Abt. K4) für die Unterstützung und gute Zusammenarbeit. Ein ganz besonderer Dank gilt den Mitarbeitern der Abteilung K4, ohne die dieses Projekt nicht durchführbar gewesen wäre. Sie ermöglichten die Untersuchung der Methoden und der einzelnen dabei verwendeten Arbeitsschritte. Weiters erklärten sie

sich bereit, sich für die Beobachtungsreihen zur Zeitmessung zur Verfügung zu stellen. Das Zustandekommen dieses Artikels verdankt der Autor den Ermutigungen und zahlreichen Diskussionen mit Professor Dr. André Frank und Dr. Werner Kuhn sowie den anderen Mitarbeitern der Abteilung Geoinformation und Landesvermessung der TU-Wien.

Literatur

- Arend, U.** (1990). Wissenserwerb und Problemlösen bei der Mensch-Computer-Interaktion: empirische Untersuchungen zur handlungsorientierten Gestaltung der Benutzeroberflächen an einem Datenbankprototypen. Techn. Hochschule Darmstadt: S. Roderer Verlag, Regensburg.
- BEV** (1991). Die Anlegung der digitalen Katastralmappe (DKM), Erlaß des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen vom 27. März 1991, GZ K 5108 / 90-21.603. 2.Auflage, Wien.
- Card, S. K., English, W. K., & Burr, B. J.** (1978). Evaluation of mouse, rate-controlled isometric joystick, step keys, and text keys for text selection on a CRT. *Ergonomics*, 21, 601-613.
- Card, S. K., Moran, T. P., & Newell, A.** (1980a). Computer text-editing: An information-processing analysis of a routine cognitive skill. *Cognitive Psychology*, 12, 32-74.
- Card, S. K., Moran, T. P., & Newell, A.** (1980b). The Keystroke-Level Model for User Performance Time with Interactive Systems. *ACM Communications*, 23(7), 396-410.
- Card, S. K., Moran, T. P., & Newell, A.** (1983). *The Psychology of Human-Computer Interaction*. Lawrence Erlbaum Associates; Hillsdale, N.J.
- Connealy, T.** (1992). A Complete and Innovative Raster to Vector Conversion Algorithm. In *EGIS'92*, (pp. 1102-1111). Munich: EGIS Foundation.
- Cressie, N. A. C.** (1991). *Statistics for spatial data*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Crosilla, F., & Piccinini, L. C.** (1991). A new approach for pattern recognition in cadastral cartography. *Geo-Information-Systeme*, 4(4), 14-20.
- Frank, A.** (in Press). The user interface is the GIS. In Medickij-Scott, D., & H., H. (Eds.), *Human Computer Interaction and Geographic Information Systems* .
- Haunold, P., & Kuhn, W.** (1993). Die Analyse von manuellen Digitalisierungsabläufen. *EVM*.
- John, B. E., & Newell, A.** (1989). Cumulating the Science of HCI: From S-R Compatibility to Transcription Typing. In *Proceedings of the CHI'89 Conference on Human Factors in Computing Systems*, (pp. 109-114). New York: ACM.
- Koch, K. R.** (1987). *Parameterschätzung und Hypothesentests in linearen Modellen*. Bonn: Ferd. Dümmlers Verlag.
- Kuhn, W.** (1990a). Editing Spatial Relations. In Kishimoto, K. B. a. H. (Ed.), *Fourth International Symposium on Spatial Data Handling*, (pp. 423-432). Zurich, Switzerland; July 1990.
- Kuhn, W.** (1990b). From Constructing Towards Editing Geometry. In *ACSM/ASPRS Annual Convention*, 1 (pp. 153-164). Denver, CO; March 18-23, 1990.
- Marble, D. F., Lauzon, J. P., & McGranaghan, M.** (1984). Development of a Conceptual Model of the Manual Digitizing Process. In *International Symposium on Spatial Data Handling*, 2 (pp. 146-171). Zurich, Switzerland: Geographisches Institut, Abteilung Kartographie/EDV.
- Olson, J. R.** (1987). Cognitive analysis of people's use of software. In Carroll, J. M. (Eds.), *Interfacing Thought - Cognitive Aspects of Human-Computer Interaction* Cambridge, MA: Bradley Books/MIT Press.

Olson, J. R., & Nilsen, E. (1988). Analysis of the cognition involved in spreadsheet software interaction. *Human-Computer Interaction*, 3, 309-350.

Walker, N., Smelcer, J. B., & Nilsen, E. (1991). Optimizing Speed and Accuracy of Menu Selection: A Comparison of Walking and Pull-Down Menus. *International Journal of Man-Machine Studies*, 35(6), 871-890.

© Zentrum für Geographische Informationsverarbeitung Salzburg
Institut für Geographie und Angewandte Geoinformatik - Universität Salzburg
Hellbrunner Str. 34, A-5020 Salzburg
WWW: <http://www.zgis.at/> email: zgis@sbg.ac.at