

Irrtümer beim Maschineschreiben und ihr Hinweis auf Systemeigenschaften zentraler Entscheidungsmechanismen

Errors in Type-writing and Their Indications for Special Characters
of the Data Processing Controlling the Typing Process

Dietmar Todt

Biologisches Institut I, Universität Freiburg i. Br.

(Z. Naturforsch. **30 c**, 80–87 [1975]; eingegangen am 30. Juli/21. Oktober 1974)

Errors in Writing, Neural Data Processing, Short Term Memory, Motor Programming,
Response Time

Twenty students having a comparable typing skill and speed (about 150 strokes per min) performed series of typewritings with contents well familiar to them. These writings were examined for errors (error = deviation from a given program of stroke sequences).

The errors could not be caused by ignorance of writing or spelling of the words. Two categories of errors ("exchanges" = "Verwechslungen" and "omissions" = "Auslassungen") were explained to result from special "faults" in the data processing controlling the typing process (Fig. 3). The occurrence of these types of errors dependend on interactions of the following factors:

1. Preferences of succession which (in general) related the first letter of an actual letter-combination with the second one (also) in contrary succession ($i \rightleftharpoons e$) or with other letters, not occurring in the combination ($n \rightarrow d; n \rightarrow g$) (Tab. I).
2. Tendencies of the particular letters of an actual sequence of letters (= word) to occur already before and/or after the right sequential position (sequential interval of this effect ≤ 4 strokes; temporat interval: about 1 sec; Figs 1, 2).
3. Correspondences in particular characteristics of special letters (vowel-vowel-exchange, etc.).
4. The notice to type as quickly as possible.

Interactions of these factors resulted in erroneous "anticipations" and "postpositions" of letters.

Die Analyse von Abfolgen motorischer Muster (Verhaltensmuster) kann Hinweise liefern auf die Arbeitsweise der zentralen Mechanismen, die diese Abfolgen steuern^{1, 2}. Die erfolgreiche Durchführung derartiger Analysen setzt die Vergleichbarkeit der Muster voraus und erfordert dabei deren verlässliche Quantifizierbarkeit. Beide Forderungen lassen sich gut erfüllen: Zum einen für Verhaltensmuster, deren Parameter sich akustisch messen lassen (Lautäußerungen verschiedener Art)^{3–5}, zum anderen für Muster aus hand- und maschinengeschriebenen Zeichen, wie sie vor allem unter der Frage nach typischen „Musterfehlern“ bereits mehrfach untersucht wurden^{6–10}.

An der Übertragung von beliebigen, aber sinnvollen und verständlichen Buchstaben- und Wortfolgen in einen maschinengeschriebenen Text sind notwendig eine Vielzahl von Prozessen beteiligt. In diese gehen die Systemeigenschaften der schreibenden Person und der Maschine mit ein. Einige der Systemeigenschaften bedingen das Vorkommen charakteristischer Irrtümer. Nachstehend beschriebene

Sonderdruckanforderungen an Doz. Dr. D. Todt, D-7800 Freiburg, Katharinenstr. 20.

Untersuchungen sind ein erster Versuch, von bestimmten Irrtümern (hier auch „Tippfehler“ genannt) auf Eigenschaften jener Systeme zurückzuschließen, die Grundlage der zentralen Erzeugung und Durchsetzung von „Tippkommandos“ sind.

Methodik

Aus einer größeren Zahl von Personen wurden 20 nach Schreibtechnik (Finger-Buchstabenlage) und Tippgeschwindigkeit (ca. 150 ± 50 Anschläge pro min) vergleichbare Versuchspersonen ausgewählt. Diese schrieben dann auf der gleichen Maschine und jeweils mehrfach einen 35-zeiligen Text, der aufgrund von Voruntersuchungen zusammengestellt war. Die Versuchspersonen hatten die Anweisung, möglichst schnell zu tippen. Sie benötigten für die 35 Zeilen 5 bis 15 min. Ihre Zeitunterschiede ergaben sich durch Pausen, die sie zwischen einigen Sätzen und Absätzen machten. Die Rohauswertung der Texte sowie zusätzlich anderer Maschinenmanuskripte der Versuchspersonen hatte I. Hülswitt übernommen.

Zur Bewertung der Fehler und ihrer Abhängigkeiten wurde für jeden einzelnen Fehlertyp eine gesonderte Matrix für Beobachtungswerte aufgestellt. Und zwar nach dem Muster:



Dieses Werk wurde im Jahr 2013 vom Verlag Zeitschrift für Naturforschung in Zusammenarbeit mit der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V. digitalisiert und unter folgender Lizenz veröffentlicht: Creative Commons Namensnennung-Keine Bearbeitung 3.0 Deutschland Lizenz.

Zum 01.01.2015 ist eine Anpassung der Lizenzbedingungen (Entfall der Creative Commons Lizenzbedingung „Keine Bearbeitung“) beabsichtigt, um eine Nachnutzung auch im Rahmen zukünftiger wissenschaftlicher Nutzungsformen zu ermöglichen.

This work has been digitized and published in 2013 by Verlag Zeitschrift für Naturforschung in cooperation with the Max Planck Society for the Advancement of Science under a Creative Commons Attribution-NoDerivs 3.0 Germany License.

On 01.01.2015 it is planned to change the License Conditions (the removal of the Creative Commons License condition "no derivative works"). This is to allow reuse in the area of future scientific usage.

	III	IV	Σ
I	Häufigkeit eines bestimmten, falsch geschriebenen Zeichenkombinationstyps	Häufigkeit aller anderen falsch geschriebenen Zeichenkombinationstypen	Häufigkeit aller falschen Zeichenkombinationstypen
II	Häufigkeit eines bestimmten, richtig geschriebenen Zeichenkombinationstyps	Häufigkeit aller anderen richtig geschriebenen Zeichenkombinationstypen	Häufigkeit aller richtigen Zeichenkombinationstypen
Σ	Häufigkeit aller bestimmten Zeichenkombinationstypen	Häufigkeit aller anderen Zeichenkombinationstypen	Gesamt-Häufigkeit

Aus den Randbesetzungen der „Beobachtungswert-Matrix“ wurden die Besetzungs-Häufigkeiten für die Felder einer „Erwartungswert-Matrix“ errechnet; und zwar unter Annahme eines statistisch unabhängigen („Zufälligkeit“) Auftretens der vier Kombinationsgruppen. Sodann wurde für die Vierfeldertafeln die Abweichung von der Zufallserwartung anhand von Punkt-Vierfelderkorrelationskoeffizienten und Vierfelder- χ^2 -Berechnungen bestimmt. Für alle Fehler, die in dieser Arbeit als „bevorzugt“, „vorherrschend“ oder „häufiger als zufällig“ auftretend gekennzeichnet sind, war die Irrtumswahrscheinlichkeit dieser Aussage mit $\alpha < 0,01$ statistisch signifikant.

Zur Bewertung der verschiedenen Irrtümer wurde weiterhin die von uns entwickelte Prüfgröße γ (Praeferenzfaktor) herangezogen⁴, welche die Stärke der Abweichung von der Zufallserwartung wiedergibt.

Ihre Berechnung erfolgt durch Bildung des Verhältnisses aus Anteilsdifferenz und erwartetem Anteil:

$$\gamma_{(i)} = (Po_{(i)} - Pe_{(i)}) / Pe_{(i)} .$$

Hierbei ist: i = Nummer eines Fehlertyps (= irrtümliche Zeichenabfolge); Pe = erwartete relative Häufigkeit des Fehlers; Po = beobachtete relative Häufigkeit des Fehlers. Für „zufällig“ auftretende Fehler geht γ gegen 0. Positive γ -Werte zeigen „bevorzugte“, negative γ -Werte dagegen „vermiedenes“ Auftreten des betreffenden Fehlertyps an.

Bedingt durch das Ziel der Untersuchung wurde die Fehleranalyse auf solche „Irrtümer“ konzentriert, für die eine Rückführung auf Störungen bei Erzeugung, Koordination oder Durchsetzung der „Tippkommandos“ besonders plausibel schien. Dies war vor allem für *Buchstaberverwechslungen* sowie für *Buchstabenauslassungen* der Fall. Neben ihnen

wurden noch unterschieden: „*Ausrutscher*“ und „*überzählige Anschläge*“. Die Gruppen waren wie folgt charakterisiert:

„*Ausrutscher*“: Vertauschung von auf der Tastatur benachbarten Buchstaben.

„*Überzähliger Anschlag*“: Getippes Zeichen (incl. Zeichenlücken), das im Vergleich zur Zeichensequenz des vorgegebenen Textes überzählig war.

„*Auslassung*“: Jedes Fehlen eines Zeichens, das *nicht* (wie bei „*Ausrutschern*“ oder „*Verwechslungen*“) durch ein anderes ersetzt war. Dadurch: Sequentielle Verkürzung einer vorgegebenen Zeichenfolge.

„*Verwechslung*“: Jedes von der richtigen (vorgegebenen) Buchstabenfolge abweichend auftretendes Zeichen, das erstens nicht als „*Ausrutscher*“ und zweitens nicht als „*überzähliger Anschlag*“ oder „*Auslassung*“ gelten konnte.

Aufgrund der Auswahl der Versuchspersonen, des Textes sowie des Bekanntheitsgrades des Textes konnten die registrierten Irrtümer nicht als „Rechtschreibfehler“ oder „Erkennungsfehler“ klassifiziert werden. Wenn eine Textpassage eine Serie überzähliger, ausgefallener oder vertauschter Zeichen (z. B. Fehlen eines ganzen Wortes) aufwies, wurde sie nicht in die Analyse einbezogen.

Ergebnisse

Im Gesamttext von 1 833 300 Anschlägen wurden insgesamt 3667 Tippfehler gefunden; die Tippfehlerhäufigkeit betrug also durchschnittlich 0,2%. 51% der Tippfehler entfielen auf „*Ausrutscher*“, 3% auf „*überzählige Anschläge*“, 14% auf „*Auslassungen*“ und 32% (= 1173 Fälle) auf *Verwechslungen*.

Die *Ausrutscher* traten vor allem als Vertauschungen von auf der Tastatur *nebeneinander* liegenden Zeichen auf. Manche Buchstaben wurden auch mit (schräg darüber liegenden) vertauscht; nicht wenige Zeichen wurden dagegen durch darunter liegende ersetzt.

Es kann als wahrscheinlich gelten, daß ein Teil der „*Ausrutscher*“ nicht einfach auf „unpräzises Zutippen“ der Finger, sondern auf falsche Kommandofolge an die Finger zurückgeht. Diese wären dann noch als „*Verwechslungen*“ zu betrachten. Da wir sie jedoch gegenwärtig nicht von echten „*Ausrutschern*“ unterscheiden können, wurden sie hier nicht in die Gruppe „*Verwechslungen*“ aufgenommen.

Die überzähligen *Anschläge* kamen zumeist innerhalb von Wörtern vor, die aus mehr als 7 Buchstaben bestanden, also mehrsilbig waren. Dabei traten sie vor allem in Verbindung mit *Verwechslungen* auf. Vereinzelt war mehr als ein Anschlag (im Grenzfall ein ganzes Wort) überzählig.

Die *Auslassungen* kamen sowohl in einsilbigen wie in mehrsilbigen Wörtern vor. Sie fanden sich vor allem im Mittel- oder Endteil von Wörtern; kaum dagegen an Wortanfängen (vgl. dazu: „*Verwechslungen*“, die auf Auslassungen zurückzugehen scheinen: Abschnitt „Irrtümer in Verbindung mit Zeichen-Antizipationen“). Vereinzelt war mehr als ein Anschlag ausgelassen, im Grenzfall ein ganzes Wort.

Die *Verwechslungen* bildeten die für unsere Fragestellung und Methode wichtigste Fehlergruppe. Insgesamt konnte neben besonderen, individuell bevorzugten „*Verwechslungen*“ eine Reihe generell verbreiteter Tippfehler dieser Gruppe nachgewiesen werden. Auf letztere wird im folgenden näher eingegangen.

Irrtümer in Verbindung mit wechselseitigen Folgebeziehungen

Aufgrund von Resultaten, die wir bei der Untersuchung motorischer Musterabfolgen bei Tieren^{2,3} erhalten hatten, hielten wir es für denkbar, daß aktuelle Abweichungen in vorgegebenen Programmen (Tippfehler) abhängig sein könnten von allgemein faßbaren Folgebeziehungen (= statistisch nachweisbare Abhängigkeiten zwischen den Ereigniswahrscheinlichkeiten bestimmter Zeichen) zwischen bestimmten Buchstaben der zu schreibenden Wörter. Um diese Denkmöglichkeit zu überprüfen, untersuchten wir zunächst, welche und wieviele Tippfehler an Kombinationen von Buchstaben auftraten, die in der deutschen Schriftsprache durch *wechsel-*

seitige Folgebeziehungen miteinander verbunden sind. Kombinationen aus *e* und *i* mußten sich dafür aus zwei Gründen besonders eignen:

Erstens sind die zwischen *e* und *i* bestehenden Folgebeziehungen besonders stark und zweitens liegen *e* und *i* auf der Tastatur der Maschine besonders weit voneinander entfernt (Verwechslungen zwischen ihnen konnten also *nicht* auf unpräzises Tippen, sondern mußten sicher auf eine falsche Abfolge (bzw. Durchsetzung) der Tippkommandos zurückgehen).

Wie wir fanden, war die Fehlerhäufigkeit an diesen Kombinationen bei allen Versuchspersonen weit überdurchschnittlich groß. Die Irrtümer bestanden vor allem in Umkehrungen der Zeichenreihenfolge (Tab. I). Daneben waren beide Zeichen allerdings auch dann bevorzugter Ersatz füreinander, wenn sie einzeln kombiniert mit anderen Zeichen auftraten.

Wie sich bei den Untersuchungen weiterhin herausstellte, wurden *e* und *i* innerhalb gemeinsamer Kombinationen vor allem dann verwechselt, wenn ihnen ein Zeichen vorausging, das auf der Tastatur in ihrer Nähe lag. Entsprechend kamen beispielsweise folgende Verwechslungen häufiger als „zufällig“ vor:

Statt: „zwei“ wurde geschrieben „zweie“;
statt: „liegen“ wurde geschrieben „leigen“.

Die Abweichungen von dieser Regel wiesen durchweg bestimmte andere Charakteristika auf. So war in unserem Material die Sequenz *l-i-e* dann nicht in ein *l-e-i* geändert, wenn ihr ein *c-h* folgte. (In diesen Fällen fiel bisweilen das *e* aus.) Umgekehrt wurde aber die Sequenz *l-i-e* vor *c-h* durchaus häufig in *l-i-e* umgewandelt.

Dies zeigt:

1. Das Auftreten spezifischer Verwechslungen kann von besonderen Folgebeziehungen, die zwischen

Ausgangs-Kombination	Häufigkeit d. Komb. (1833000 Anschläge)	Bevorzugung bzw. Vermeidung d. Komb.	Art des Irrtums	Häufigkeit d. Irrt. (1833000 Anschläge)	Bevorzugung bzw. Vermeidung d. Irrtums
<i>e - i</i>	32.994	$\gamma' = 2,4$	<i>i - e</i>	24 (122)*	$\gamma = 10$
<i>i - e</i>	31.161	$\gamma' = 2,2$	<i>e - i</i>	21 (122)*	$\gamma = 9$
<i>s - t</i>	16.497	$\gamma' = 2,9$	<i>t - s</i>	1 (122)*	$\gamma = -0,6$
<i>t - s</i>	1.791	$\gamma' = -0,6$	<i>s - t</i>	3 (122)*	$\gamma = 24$
<i>n - d</i>	18.530	$\gamma' = 3,8$	<i>d - n</i>	0 (122)*	$\gamma = -1$
<i>n - g</i>	10.998	$\gamma' = 4,2$	<i>g - n</i>	0 (122)*	$\gamma = -1$
<i>n - d</i>	18.530	$\gamma' = 3,8$	<i>n - g</i>	12 (15)**	$\gamma = 4$
<i>n - g</i>	10.998	$\gamma' = 4,2$	<i>n - d</i>	7 (10)**	$\gamma = 2$

Tab. I Zeichenkombinationstypen (*e-i, ...*), ihre Bevorzugung ($\gamma' > 0$) bzw. ihre Vermeidung ($\gamma' < 0$) von in ihnen auftretenden Irrtümern. Spalte 1–3: Ausgewählte Kombinationstypen; Spalte 4–6: Vertauschungen ihrer Zeichen; Zeile 1–6: Angabe (122)* = Gesamtzahl von Zeichentauschungen; Zeile 7 und 8: Angaben über spezielle Zeichenersetzungen: (15)** bzw. (10)** = Anzahl aller verschiedenen Ersetzungen von *d* bzw. von *g* im Anschluß an *n*.

den Zeichen einer gegebenen Sequenz bestehen, beeinflußt werden. Dabei können sich verschiedene Folgebeziehungen überlagern.

2. Außer von Folgebeziehungen wird das Auftreten von Tippfehlern offenbar auch von Rückmeldungen über die Tastaturlage gerade getippter Zeichen beeinflußt. Bei Zeichen auf benachbarten Tasten könnten die Rückmeldungen zu Irrtümern führen.

Irrtümer in Verbindung mit einseitigen Folgebeziehungen

Es galt zu prüfen, ob die im Zusammenhang mit wechselseitigen Folgebeziehungen gefundenen Fehlertypen auch in Verbindung mit Kombinationen aus Buchstaben auftreten würden, die durch einseitige Folgebeziehungen verbunden sind.

Starke einseitige Folgebeziehungen kommen in der deutschen Schriftsprache u. a. zwischen *q-u*, *s-t* sowie *n-g* und *n-d* vor. Verwechslungen zwischen *q* und *u*, die wegen ihrer Lage auf der Tastatur am besten mit *e* und *i* vergleichbar sind, wurden nicht gefunden. Auch die übrigen Kombinationen kamen seltener als „zufällig“ in umgekehrter Abfolge vor (Tab. I).

Anders als das Zeichen *q* stehen viele andere Buchstaben in der deutschen Schriftsprache nicht nur mit *einem* anderen Zeichen in einseitiger Folgebeziehung. So wird beispielsweise das *n* bevorzugt außer von *g* auch von *d* (oder das *s* außer von *t* auch von *c-h*) gefolgt. Wie wir fanden, wirken sich auch derartige „mehrspurige einseitige Folgebeziehungen“ auf das Auftreten bestimmter Tippfehler aus. So entfiel die Mehrzahl der Zeichen, die nach einem *n* irrtümlich anstelle eines *d* getippt wurden, auf ein *g*; so bestanden die Verwechslungen eines *g* mit einem anderen Zeichen nach *n* vornehmlich in Buchstaben *d* (Tab. I). Wie wir weiterhin fanden, trat ein irrtümliches *g* vor allem nach *u-n* auf, ein irrtümliches *d* dagegen meist nach *e-n* oder *a-n*.

Dies bestätigt den bereits im vorstehenden Abschnitt beschriebenen Einfluß von Folgebeziehungen niedriger wie auch höherer Ordnung auf das Vorkommen spezifischer Tippfehler.

Irrtümer in Verbindung mit Zeichen-Dominanzen

Eine Reihe der Verwechslungen bildet einen Fehlertyp, bei dem der jeweilige Irrtum offenbar

auf eine Art „Dominanz“ einzelner Buchstaben über andere, die in der gleichen Zeichensequenz vorkamen, zurückgingen. Solche „Dominanzen“ wirkten sich im Sinne von Äquivalenz-Effekten² aus; und zwar sowohl in Richtung der fortlaufenden Buchstabenfolge als auch ihr entgegen.

Fälle, in denen sich ein Buchstabe nach seinem bereits erfolgten Erscheinen nochmals durchsetzte, zeigten sich vor allem im Zusammenhang mit „mehrspurigen einseitigen Folgebeziehungen“. Entsprechend kam in Wörtern, in denen anstelle eines *n-g* irrtümlich ein *n-d* geschrieben wurde, meist programmgemäß ein *d* vor. Umgekehrt trat, wo statt eines *n-d* ein *n-g* getippt wurde, in der Mehrzahl der Fälle ein programmgemäßes *g* auf (Abb. 1).

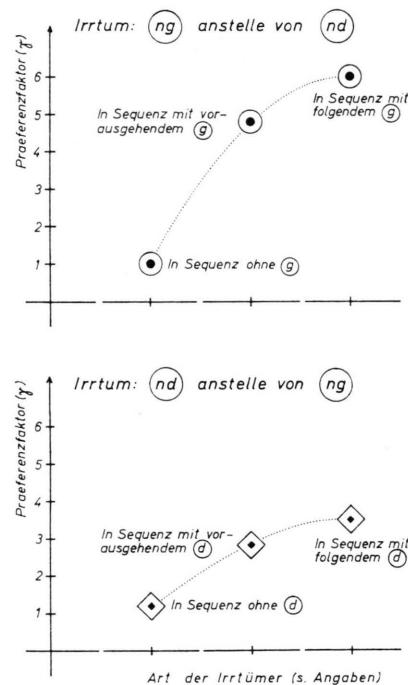


Abb. 1. Ersetzungen eines bestimmten Zeichens (oben: *d*; unten: *g*) durch ein bestimmtes anderes (oben: durch *g*; unten: durch *d*) in Abhängigkeit von einem programmgemäß zusätzlichen Auftreten dieses Zeichens (hier: *g* bzw. *d*) in sequentieller Nachbarschaft des ersetzen Zeichens. Ordinaten: Grad der Bevorzugung der Zeichenersetzung. O. g. Werte bzw. Wertdifferenzen von $\gamma \geq 0,5$ sind statistisch signifikant. Abszissen: Art der Irrtümer. Der jeweils 1. Wert (links) betrifft Zeichenfolgen, in denen das Ersatzzeichen 7 Anschläge vor und nach der Ersetzung *nicht* vorkam. Der 2. Wert (Mitte) betrifft Zeichenfolgen, in denen das Ersatzzeichen in einem Abstand von weniger als 7 Anschlägen *vor* der Zeichenersetzung bereits auftrat. Der 3. Wert (rechts) betrifft Zeichenfolgen, in denen das Ersatzzeichen in einem Abstand von weniger als 7 Anschlägen *nach* der Zeichenersetzung nochmals vorkam. (Vgl. Abb. 2.)

Beispiele:

Statt „aufgrund“ wurde geschrieben „aufgrung“; statt „Ermüdung“ wurde geschrieben „Ermündund“.

Fälle, in denen sich ein Buchstabe bereits *vor* seinem richtigen Vorkommen „auf Kosten“ eines anderen Zeichens durchsetzte, kamen vor allem an Anfangsbuchstaben von Wörtern oder Silben vor:

Statt „Komponente“ wurde geschrieben „Pomponente“;

statt „programmgemäß“ wurde geschrieben „grammgemäß“.

Generell wurden dabei Konsonanten bevorzugt durch Konsonanten ersetzt. Entsprechend traten an die Stelle von Vokalen bevorzugt wieder Vokale.

Die derartig charakterisierten Irrtümer fanden sich in unserem Material bevorzugt in einem Abstand von *höchstens* 4 Sequenzstellen *vor* oder *nach* einem Zeichen (Abb. 2). Das entsprach einem Zeit-

Tendenz zugeordnet ist, die ihre Durchsetzung auch zu anderen als nur den richtigen Positionen begünstigt. Diese Tendenz, die vermutlich normalerweise zur Durchsetzung eines Zeichens an der richtigen Sequenzstelle beiträgt, müßte dann sowohl bereits *vor* als auch *nach* Erreichen der richtigen Sequenzstelle existieren und dabei das Auftreten von Fehlentscheidungen bei der Kommandoformulierung jeweils über einen Sequenzbereich von höchstens 4 Zeichen (= etwa 1 sec) beeinflussen können. Solche Einflüsse scheinen vor allem dann erfolgreich, wenn sie noch von anderen gleichsinning wirkenden Einflüssen überlagert werden. Letztere dürften sich außer aus Folgebeziehungen auch aus „Merkmalsübereinstimmungen“ zwischen den Zeichen ergeben: „Ähnliche“ Zeichen könnten sich danach leichter ersetzen als unähnliche. Dieser bisher durch bevorzugte Vokal-Vokal-Verwechslungen gut belegte Effekt ($\gamma = 3$) wird gegenwärtig noch eingehender analysiert.

Irrtümer in Verbindung mit Zeichen-Antizipationen

Untersucher von „Irrtümern“ in handgeschriebenen Texten hatten beobachtet, daß beim Schreiben einzelne Buchstaben eines Wortes vorgezogen werden können. Dieses Phänomen wurde als Antizipation („Vorwegnahme“) beschrieben^{7, 10}. In unserem Material lassen sich die Fehler der Gruppe „Auslassungen“ als Zeichen-Antizipationen auffassen. Daneben muß aber auch ein großer Teil der „Verwechslungen“ als Zeichenvorwegnahmen gedeutet werden. Begründung:

Etwa 20% der Verwechslungen bestanden in Zeichenverdopplungen innerhalb von Wörtern, deren Programm keine Buchstabenverdopplung aufwies. Wie die Analyse zeigte, entfielen mehr als 80% dieser Fälle auf Verwechslungen eines Zeichens mit dem ihm programmgemäß folgenden Zeichen, das dann aber (programmgemäß richtig!) noch einmal getippt wurde. Wie sich aus unseren Protokollen ergibt, können die Buchstabenverwechslungen dieses Typs (Verwechslungen) als eine Art von „Auslassungen“ gelten, die „sofort“, d. h. noch *vor* Vollzug des nächsten Anschlags, als „Vertipper“ erkannt wurden.

Derartig erkannte irrtümliche Antizipationen kamen besonders oft im Zusammenhang mit Buchstabenkombinationen vor, deren Zeichen durch starke Folgebeziehungen verbunden waren (Tab. I).

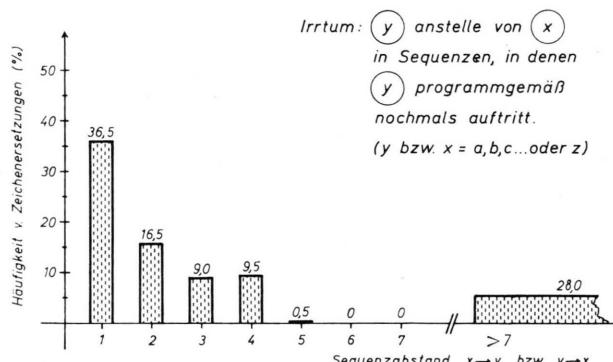


Abb. 2. Häufigkeit von Ersetzungen eines Zeichens x ($x: a, b, c \dots z$) durch ein Zeichen y ($y \neq x$, $y: a, b, c \dots z$) in Abhängigkeit vom kürzesten programmgemäßen Sequenzabstand zwischen x und y ; und zwar für die Fälle, in denen y an der sequentiell richtigen Stelle nochmals getippt wurde. Abstand 1: Unmittelbare Aufeinanderfolge. Der Abstand 4 entspricht etwa 1 sec. Die nach Sequenzabständen >7 auftretenden und hier zusammengefaßt dargestellten Zeichenersetzungen (28%) kamen *nicht* gehäuft nach einem bestimmten Abstand vor. (Es handelt sich bei ihnen also um jene Fälle, in denen ein Ersatzzeichen *nicht* innerhalb der sequentiellen Nachbarschaft eines ersetzen Zeichens vorkam. „Irgendwann“ mußte zwangsläufig jedes Ersatzzeichen bereits aufgetreten sein bzw. erneut vorkommen.) Gesamthäufigkeit des Fehlertyps „Zeichenersetzung“: 225 Fälle innerhalb von 846 300 Anschlägen.

intervall von etwa 1 sec oder weniger. Eine detaillierte Analyse dieser Abhängigkeit wird gegenwärtig ausgeführt.

Die beschriebenen Effekte deuten also darauf hin, daß den einzelnen Zeichen einer Sequenz eine

Zu den häufigsten gehörte die Verdopplung des *s* in Buchstabenfolgen, die ein *s-t* aufwiesen. Beispiele:

Statt „erst“ wurde geschrieben „esst“;
statt „ist“ wurde geschrieben „sst“.

Wie wir weiterhin fanden, bildeten sie den häufigsten Verwechslungsfehler, der an Wortanfängen gemacht wurde: 66% aller Verwechslungen, die sich am *ersten* Buchstaben eines Wortes zeigten, entfielen auf Zeichen, die eine Position zu früh sowie dann nachfolgend nochmals getippt wurden. Dies bedeutet, daß an Wortanfängen Antizipationen dieser Art regelmäßig schon nach *einem* Anschlag bemerkt und mit einer Reaktion beantwortet werden (Reaktionszeit 0,2 – 0,4 sec). Die verbleibenden Anfangsverwechslungen bestanden in Antizipationen, die wir vorn als „Zeichen-Dominanzeffekte“ beschrieben haben.

Neben den zu Zeichen-Verdopplungen führenden Antizipationen traten nun im Zusammenhang mit Buchstabenkombinationen, deren Zeichen durch starke Folgebeziehungen verbunden waren, auch Zeichenauslassungen auf. Und zwar sowohl vor als auch innerhalb der Kombination.

Diskussion

Die beschriebenen Analysen sollten ein erster Versuch zur Aufhellung der Bedingungen sein, unter

denen Tippfehler auftreten. Dabei ging es darum, zunächst Hinweise auf Prozesse zu erhalten, die Einfluß auf die aktuellen Entscheidungen haben, die den Tippkommandos vorausgehen müssen. Daher wurden Tippfehler, die z. B. durch denkbare „Störungen“ der Zielbewegungen der Finger hervorgerufen sein konnten („Ausrutscher“), hier ausgeklammert¹¹.

Wie wir fanden, sind die Bedingungen der zentralen Entscheidungsprozesse durch Untersuchung vor allem von „Entscheidungsfehlleistungen“ prinzipiell charakterisierbar. In der Regel scheint dem einzelnen „Lapsus“ mehr als eine ihn begünstigende Bedingung zugrunde zu liegen (Abb. 3).

Als Tippfehler begünstigende Bedingungen wurden gefunden:

1. Folgebeziehungen, die die jeweils vorkommenden Buchstaben allgemein mit anderen Zeichen verbinden.
2. Tendenzen der einzelnen Zeichen einer vorkommenden Sequenz, innerhalb eines bestimmten Sequenzbereiches (≤ 4 Zeichen) auch an anderen als den „richtigen“ Positionen aufzutreten („Dominanz“).
3. Bestimmte Merkmalsübereinstimmungen zwischen den Zeichen (Vokal-Vokal-Verwechslung u. a.).

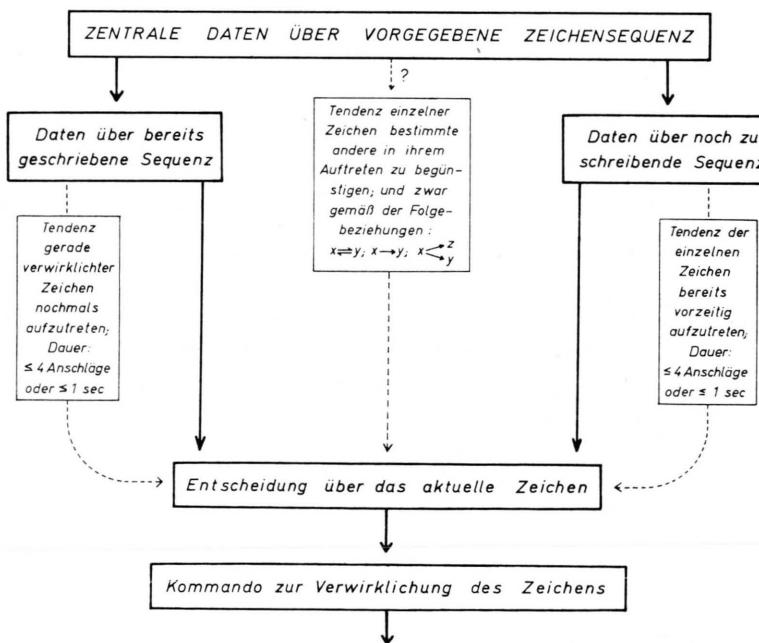


Abb. 3. Übersicht über Einflüsse, die auf die Entscheidungsprozesse der Buchstabenauswahl („Zeichendeterminierung“) einzuwirken scheinen.

4. Die Anweisung, eine vorgegebene Zeichensequenz schnell durch Tippen wiederzugeben.

Wir halten es für wahrscheinlich, daß die beschriebene „Antizipation“ von Zeichen aus der Bedingung 4 durch Überlagerung mit den anderen Bedingungen resultieren könnte. Und zwar vor folgendem Hintergrund: Den hier betrachteten, beim Tippen eines bestimmten Textes vollzogenen Fingerbewegungen muß ein Programm zentraler Kommandos zugrunde liegen. Dieses Programm ist willkürlich steuerbar. Im Regelfall führt es zu getippten Zeichensequenzen, deren Abfolgen vorgegebenen Sequenzen genau entsprechen. Beim schnellen, vor allem beim förmlich „automatisch“ ablaufenden Schreiben kann es jedoch zu qualitativ falschen Kommandos kommen. Bei mäßig schnellem Schreiben (>150 Anschläge pro min) stehen von Kommandoausführung zu Kommandoausführung weniger als 0,4 sec, bei schnellem Schreiben (>300 Anschläge pro min) sogar weniger als 0,2 sec zur Verfügung. Nun muß es als sicher gelten, daß jedes zentrale Kommando, das erstens zur aktuellen Entscheidung für die Verwirklichung dieses bestimmten Zeichens und dann zweitens zur aktuellen Verwirklichung dieses Zeichens führt, eine bestimmte Zeitdauer aufweist. Da es nicht unwahrscheinlich scheint, daß der größte Teil der von Kommandoausführung zu Kommandoausführung verstreichenden Zeit für den Vollzug des Tippens und nur der kleinere Teil für die Entscheidungsprozesse benötigt wird, könnte als Systemeigenschaft auf Seiten des Schreibenden ein *Vorlaufen* von Entscheidungen resultieren. Dies ergäbe sich dann, wenn nicht jede einzelne Entscheidung bis zum Eintreffen der „richtigen“ Rückmeldung blockiert würde.

Durch diese Vorstellung ließen sich jene „Antizipationen“ erklären, die zu „Auslassungen“ und zu den irrtümlichen Zeichenverdopplungen führten. Da der erste Anschlag in solchen Verdopplungen nach unseren Ergebnissen als erkannte Zeichenverwegnahme gelten muß, auf die das vorweggenommene Zeichen positionsrichtig nochmals angesteuert wurde, ergibt sich daraus eine Reaktionszeit von etwas weniger als 0,2 sec. Eine ganz entsprechend kurze Reaktionszeit hat auch Milani⁸ bei der Analyse italienischer Maschinentexte erschlossen; und zwar nach einem anderen als dem von uns benutzten Verfahren.

Die genannten Zeiten entsprechen größtenteils jenen, die Wenzel¹² als Erkennungszeit

beim Lesen von Buchstaben angegeben hat. Nun dürften allerdings solche Erkennungsprozesse für die Interpretation der von uns beobachteten schnellen Fehlerkorrekturen ebensowenig entscheidend sein wie eine visuelle Kontrolle der Finger-Buchstaben-Lage.

In die von uns gefundenen Zeiten von etwa 200 msec müssen zudem außer den Zeiten für die Erkennung des Irrtums noch die Zeiten für die sich daran anschließende neurale Datenverarbeitung sowie die Ausführung des Korrekturkommandos eingehen. Da unsere Versuchspersonen übereinstimmend erklärten, daß sie ihre Irrtümer oft nicht erst *nach* dem Tippen, sondern bereits kurz vor dem (von uns bisher als Bezugszeitpunkt gewählten) jeweiligen „falschen“ Anschlag bemerkten, könnte die Zeitspanne für alle genannten Teilprozesse der Korrektur allerdings ein wenig länger sein als der von uns ermittelte Wert. Gleichwohl können diese schnellen Reaktionen wohl nur dann ausgeführt werden, wenn erstens die Korrektur vor allem mit Hilfe der von Küpfmüller u. Poklekowski¹¹ beschriebenen *internen Regelmechanismen* (Laufzeit ca. 50 msec) herbeigeführt wird, und wenn zweitens die die Tippkommandos ausführenden Finger (wie in den Fällen der Korrekturreaktion „Buchstabenverdopplung“) keinen langen Weg zurückzulegen haben. Hier sind weitere Untersuchungen erforderlich.

Für die Deutung der mehr als einen Anschlag voraus- bzw. nachwirkenden Einflüsse, die hier in der Diskussion unter 2. beschrieben wurden, reicht die vorn skizzierte Vorstellung kaum aus. Statt dessen könnten diese Einflüsse auf Mechanismen zurückgehen, in denen Teile der jeweils bereits geschriebenen bzw. der noch zu schreibenden Zeichensequenz für bestimmte Zeit gespeichert werden (Abb. 3). Die Beteiligung solcher Speichermechanismen an der Steuerung des Handschreibens war bereits von Stoll⁷ gefordert worden. Neuerdings hat sie van Nes¹⁰ im Zusammenhang mit Analysen von Fehlern in handgeschriebenen Texten diskutiert und ebenfalls für den von ihm gefundenen Effekt der Zeichen-Antizipation herausgestellt.

Die Resultate van Nes' haben für die Bewertung unserer Befunde besondere Bedeutung. Neben der bereits genannten Antizipation hat er u. a. erstens eine „Buchstabeninterferenz“ beschrieben, die unserem Folgebeziehungseffekt zu gleichen scheint. Zweitens hat er eine „Buchstabenbeeinflussung“ in Richtung auf Ähnlichkeit aufgezeigt, die unseren vorn

unter II und III genannten Fehlerbedingungen zu entsprechen scheint. Schließlich hat auch er gefunden, daß ein einzelner Fehler in der Regel auf mehrere verschiedene Einflüsse („Gründe“) zurückgehen kann. Diese Übereinstimmung ergab sich, obgleich van Nes handgeschriebene und dabei nicht deutschsprachige (holländische und englische) Texte analysierte. Daraus folgt, daß die erkannten Prinzipien, wie angenommen, auf Systemeigenschaften zentraler Steuerungsmechanismen zurückgehen müssen.

Wenn man sich, wie wir es versuchen, um die Aufhellung dieser Systemeigenschaften bemüht, so geht dabei zwar einiges an „Kommandofeinheiten“ (wie sie in handgeschriebenen Texten erkennbar sind) verloren. Dafür lassen sich die Texte jedoch leichter analysieren. Wir haben jetzt Programme entwickelt, die dem Ziel einer automatischen Fehler-

erkennung und -auswertung dienen. Dabei muß es dann auch darum gehen, Fehler, die jetzt noch als „Ausrutscher“ ausgesondert wurden, in die Analysen einzubeziehen. Besonderes Gewicht soll nunmehr auf die Untersuchung der Reaktionszeiten und anderer Zeitphänomene gelegt werden. Wie erwähnt, nähern sich beim schnellen Tippen die von Kommandoausführung zu Kommandoausführung verstreichenen Zeiten Werten, die vor dem Hintergrund der Arbeiten Küpfmüllers¹¹ über die Regelmechanismen von Willkürbewegungen sowie der kürzlich von Kornhuber¹³ für die Steuerung motorischer Programme durch Groß- und Kheinhirnaktivitäten beschriebenen Zeitabhängigkeiten, interessante Aussagen zuzulassen versprechen.

Die Arbeit wurde mit Unterstützung durch den Sonderforschungsbereich „Hirnforschung und Sinnesphysiologie“ (SFB 70) durchgeführt.

- ¹ O. G. Mackey, Kybernetik **6**, 57–61 [1969].
² D. Todt, Naturwissenschaften **57**, 61–66 [1970].
³ D. Todt u. J. Wolffgramm, Kybernetik, im Druck.
⁴ F. Thimm, A. Clausen, D. Todt u. J. Wolffgramm, J. Comp. Physiol. **93**, 55–84 [1974].
⁵ A. Cohen, Z. Phonetik **21**, 177 [1968].
⁶ J. W. Goethe, Über Kunst und Altertum II, p. 177, Cotta'sche Buchhandlung 1820.
⁷ S. Stoll, Fortschritte der Psychologie und ihrer Anwendung **2**, p. 1, Leipzig 1913.

- ⁸ V. Milani, Ergonomics in Machine Design, Intern. Symp. Praha 1967.
⁹ J. Vredenbregt u. W. G. Koster, I. P. O. Annual Progress Report **2**, 157 [1967].
¹⁰ F. L. van Nes, Excerpta Medica 1971, 420–425, Amsterdam 1971.
¹¹ K. Küpfmüller u. G. Poklewski, Z. Naturforsch. **11b**, 1–7 [1956].
¹² F. Wenzel, Kybernetik **1**, 32–36 [1961].
¹³ H. H. Kornhuber, Verh. dt. Zool. Ges. Mainz **66**, 151–167 [1972].