

# **Linguistische Rahmen und segmentale Information bei der Einzelwortschreibung. Evidenzen aus Zeitstrukturen und Fehlerverteilungen**

Udo Will, Rüdiger Weingarten, Guido Nottbusch und Christian Albes

Universität Osnabrück

## *Abstract*

Es wird vielfach angenommen, daß mündliche und schriftliche Sprachproduktion wesentlich unterschiedlichen Organisationsprinzipien folgen. Aufgrund von Ergebnissen aus der Fehlerforschung wird insbesondere behauptet, daß es nur beim Sprechen eine Aufspaltung des postlexikalischen Produktionsprozesses in eine Bereitstellung linguistischer Rahmeninformation und einer nachfolgenden Auffüllung derselben durch segmentale Information gibt. Wir legen hier Ergebnisse von Experimenten zur Wortschreibung auf der Tastatur sowie Fehlerauswertungen vor, die zu einer weitgehenden Revision dieser Annahmen führen. In zwei Versuchen wurden Versuchspersonen aufgefordert, schriftlich dargebotene Wörter auf einer Tastatur zu schreiben. Dabei wurden die Zeitintervalle zwischen den einzelnen Tastenanschlägen aufgenommen und analysiert. Die dabei festgestellten Zeitstrukturen sind mit einer Aufspaltung in Rahmeninformation und segmentaler Füllung gut vereinbar. In einer weiteren Untersuchung zu Tippfehlern konnte dieses Ergebnis bestätigt werden, da sich bei einer angemessenen Datenanalyse sehr wohl eine Tendenz zur Erhaltung linguistischer Rahmen bei der Fehlerverteilung zeigt.

## *Einleitung*

Sprachproduktion umfaßt drei zentrale Prozeßbereiche: konzeptuelle Planung, sprachliche Produktion im engeren Sinne und motorische Umsetzung. Generell gehen alle Prozeßmodelle davon aus, daß nach der konzeptuellen Planung eine Aktivierung und Abrufung lexikalischer Informationen folgt, die dann über die phonologische Encodierung und Übersetzung in Motorprogramme zur Artikulation führen. Nach den meisten Theorien zur mündlichen Sprachproduktion werden bei der phonologischen Encodierung nicht komplette, unanalysierte Wörter verarbeitet. Es wird vielmehr angenommen (Fromkin, 1971; Shattuck-Hufnagel, 1979; Dell, 1988; Levelt et al., 1999), daß aus dem mentalen Lexikon anstelle von segmental vollständig spezifizierten Wörtern, abstrakte suprasegmentale Einheiten abgerufen werden und durch auf separatem Wege erhaltene segmentale Informationen aufgefüllt werden. Diese Vorstellungen stützen sich, da die zugrundeliegenden kognitiven Prozesse nicht direkt beobachtbar sind, im Wesentlichen auf die umfangreichen Analysen der Sprechfehlerforschung, deren theoretische Grundlage ganz entscheidend durch den 1951 erschienenen Artikel 'The problem of serial order in behavior' von K.S. Lashley geprägt worden ist. Lashley hatte in dieser Arbeit darauf hingewiesen, daß die Untersuchung von Fehlern in seriellen Anordnungen sowohl aufschlußreiche Informationen über funktionale Einheiten der untersuchten Aktionen als auch über deren serielle Organisation liefern kann. Diese Anregungen wurden dann in den 60er

Jahren in der Sprechfehlerforschung aufgegriffen und führten zu den genannten Modellentwicklungen.

Es werden generell fünf Haupttypen von segmentalen Fehlern beim Sprechen unterschieden: Vertauschungen, Ersetzungen, Verschiebungen, Hinzufügungen und Auslassungen ('exchange, substitution, shift, addition, omission'). Von diesen sind die Vertauschungen, zumindest was das Sprechen betrifft, der einzige Fehlertyp der nicht selten auftritt und bei dem gleichzeitig der Ursprung der Vertauschungen eindeutig bestimmt werden kann. Das dominierende Phänomen bei den Vertauschungsfehlern ist, daß in fast allen segmentalen Vertauschungen die vertauschten Einheiten eine Position innerhalb einer Silbe einnehmen, die analog zu ihrer ursprünglichen Position ist. So tauschen z.B. silbeninitiale Konsonanten mit silbeninitialen Konsonanten, Vokale mit Vokalen und silbenterminierende Konsonanten mit silbenterminierenden Konsonanten ihre Position aus. Umfangreiche Fehleranalysen dieser Art führten zur Entwicklung von Modellen der mündlichen Sprachproduktion, in denen die Vorstellungen von 'Rahmen' und 'Inhalt' ('frames and content'; 'frames and fillers') eine zentrale Rolle spielen (Fromkin, 1971; Shattuck-Hufnagel, 1979; Dell, 1988; Levelt et al., 1999). Insbesondere ergaben sich viele Hinweise auf die Existenz von Silbenrahmen (möglicherweise mit Substrukturierungen wie etwa Anfangsrand, Kern und Endrand). Diese werden fast immer als Untereinheiten von umspannenden Wortrahmen angesehen. In den meisten gegenwärtigen Modellen sind es diese metrischen Wortrahmen, die unabhängig von der segmentalen Information aus dem mentalen Lexikon abgerufen werden.

In einem kürzlich erschienenen Artikel kontrastiert nun MacNeilage (1998, S.503) gesprochene und maschinenschriftliche Sprachproduktion und konstatiert: "However, typing does not possess a F/C [Frame/Content] mode of organization". Zur Begründung verweist er auf folgende Beobachtung: Vertauschungsfehler treten in der Maschinschrift zwischen benachbarten Buchstaben auf und nicht zwischen Einheiten in vergleichbaren Positionen innerhalb einer unabhängigen, übergeordneten Rahmenstruktur wie etwa Silbenrahmen (MacNeilage, 1964).

Beim Schreiben gibt es nach seiner Auffassung keine inhärenten (phonotaktischen) Bedingungen, die einen Austausch zwischen Konsonanten- und Vokalbuchstaben verhindern würden. (So sind z.B. nicht alle Phonemkombinationen sprachlich realisierbar, aber alle Graphemkombinationen sind schriftlich ausführbar. Die Möglichkeit graphotaktischer Beschränkungen wird nicht weiter in Erwägung gezogen). Nach MacNeilage (1985) treten solche Vertauschungen vielmehr mit einer Häufigkeit auf, die der relativen Häufigkeit des Auftretens von Konsonanten- und Vokalbuchstaben in der geschriebenen Sprache entspricht.

Auch andere Forscher haben solche Unterschiede in der Fehlerproduktion beim Schreiben und Sprechen beschrieben. MacKay (1993) führt sie darauf zurück, daß beim Schreiben im Gegensatz zum Sprechen eine Kodierung stattfindet, die linear und nicht (primär) hierarchisch organisiert wird: "... typists are assumed to develop hierarchically organized graphemic units for frequent diads (letter pairs such as *th*), the absence of multiletter substitutions in skilled typing is curious and suggests that typing units are sequenced in very different ways from phonological units of speech" (MacKay, 1993, S.70). (Im angelsächsischen Sprachraum wird der Graphembegriff anders verwendet als im

deutschen. Wir bezeichnen mit Graphem eine Einheit der Schriftsprache analog zum Phonem in der Lautsprache als kleinste bedeutungsunterscheidende Einheit.) Ebenso wie MacNeilage meint auch MacKay, daß beim Schreiben Konsonanten- und Vokalbuchstaben miteinander vertauscht werden können, und er schreibt weiter: "... and syllable-initial consonants often substitute with syllable-final consonants." (Unterstreichung von uns). Zu diesem Fehlertyp führt er ein einziges, jedoch konstruiertes Beispiel an, nämlich artful → arftul. Obwohl der Status und die Bedeutung dieses letzten Fehlertyps nicht klar ist, werden dennoch die genannten Unterschiede zwischen Sprech- und Schreibfehlern weitestgehend so interpretiert, daß Silbenrahmen beim Schreiben keine Bedeutung haben und möglicherweise beim Schreiben gar nicht existieren.

In einigen anderen Studien finden sich jedoch durchaus auch Hinweise auf silbische Rahmen bei der schriftlichen Sprachproduktion. Schon Ellis (1982:135) hat auf die Arbeit von Marcel (1980) verwiesen, in der der Autor nachweist, daß beim lauten Buchstabieren von zweisilbigen Wörtern die Versuchspersonen bevorzugt Pausen zwischen den beiden mittleren Konsonanten, d.h. an den Silbengrenzen, plazieren. Ellis fragt dann, eine verbreitete Auffassung repräsentierend: "If familiar words like *petrol* are accessed via a *graphemic* lexicon and represented in a graphemic code, why should oral spelling show evidence of a syllabic division - the syllable being a phonological, not a graphemic unit?" Ellis' weitsichtige Antwort: "Perhaps it will be necessary to admit syllabic division in the graphemic buffer, in which case graphemic slips of the pen might be expected to show evidence of syllabic constraints". Wing (1980) hat in einer Studie zur Handschrift gezeigt, daß Silbenakzente die Variation der Buchstabengröße im Englischen beeinflussen. Außerdem finden sich in mehreren Arbeiten Hinweise auf die Bedeutung von silbischen Einheiten beim Schreiben, leider werden aber keine Daten als Beleg angeführt. So schreibt etwa Shaffer (1978:333): "fluent typing is organized in words and syllables but is typed as a sequence of letters", und bei Ostry (1983:240) findet sich folgende Aussage: "Syllabification does seem to account somewhat for the form of the interkey time function in typing".

Die vorliegenden Untersuchungen zu Fehlern beim Tippen vermitteln in ihren Ergebnissen ein uneinheitliches Bild und erscheinen zum Teil methodisch als fragwürdig. Eine so kategorische Aussage, wie sie MacNeilage trifft, daß beim Schreiben eine an linguistischen Strukturen orientierte Verteilung von Rahmen und segmentaler Information nicht existiere, ist unseres Erachtens nicht gerechtfertigt.

### *Zeitstrukturanalyse des Schreibens*

Deutlichere Hinweise auf die Existenz von silbischen Einheiten (Silbenrahmen) und lexikalischen 'Rahmen' beim Schreiben sind jedoch jetzt durch Arbeiten zur Zeitstruktur bei der Hand- und Maschinenschrift vorgelegt worden. In kürzlich veröffentlichten Arbeiten haben Weingarten (1997) und Nottbusch et al. (1998) gezeigt, daß linguistische Einheiten einen signifikanten Einfluß auf die Zeitstruktur sowohl bei der Handschrift als auch bei der Tastaturschrift ausüben. In der Auswertung der handschriftlichen Daten bei Einzelwortdarbietungen fanden die Autoren einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Dauer der Abhebungen des Schreibstiftes an Buchstabenübergängen und den linguistischen Grenzen an diesen Übergängen: Die Abhebungen waren am längsten an solchen Buchstabenübergängen, an denen sowohl eine neue Silbe als auch ein neues Morphem begann.

Abhebungen, die an Buchstabenübergängen mit reinen Silben- oder reinen Morphemgrenzen auftraten, waren länger als solche an reinen Buchstabenübergängen; die letzteren Unterschiede waren jedoch statistisch nicht signifikant.

Die Dauer der Abhebungen an Buchstabenübergängen mit kombinierten Silben- und Morphemgrenzen zeigte auch eine Abhängigkeit vom Morphemtyp: sie waren deutlich länger für Grundmorpheme als für Affixmorpheme. Vergleichbare Resultate erhielten die Autoren auch bei der maschinenschriftlichen Einzelwortschreibung.

Diese Ergebnisse zeigen, daß bei der Wortschreibung die zeitliche Abfolge der Segmente (der Buchstaben) nicht nur durch Bedingungen der (peripheren) Schreibmechanik (z.B. Anordnung der Buchstaben auf der Tastatur) oder andere, sekundäre Merkmale wie z.B. Häufigkeiten des Auftretens bestimmter Buchstaben(-kombinationen) bestimmt wird, sondern daß es eine Hierarchie supra-segmentaler Organisationsrahmen gibt, von denen einer mit dem Silbenrahmen der gesprochenen Sprache übereinstimmt.

In den hier folgenden Abschnitten stellen wir nun Untersuchungen vor, die zunächst mit Zeitstrukturanalysen Hinweise auf die Aufspaltung von Rahmen und segmentaler Information liefern. In zwei Versuchsreihen wird die zeitliche Struktur von Wortschreibungen mit der Tastatur untersucht. Eine zeitliche Verteilung der Latenzen vor Tastenanschlägen, die vor linguistischen Einheiten größere Intervalle ergibt als innerhalb solcher Einheiten, könnte als eine Aufspaltung von Rahmen und segmentaler Information angesehen werden. Andere zeitliche Verteilungen würden eher dafür sprechen, daß eine solche Aufspaltung nicht vorliegt. Die Ergebnisse dieser Versuchsreihen und die methodischen Schwächen verschiedener vorliegender Untersuchungen gaben Anlaß zu eigenen Fehlerstudien, die im Anschluß vorgestellt werden.

### *Experiment 1*

In diesem Versuch waren alle Versuchspersonen (Vpn) Studierende mit Deutsch als Muttersprache. In einem Vortest wurde sichergestellt, daß die Beteiligten relativ flüssig tippen können; strikte Kriterien der Geschwindigkeit oder des Tippsystems wurden nicht zugrunde gelegt. Am Versuch nahmen 23 Vpn (12 weiblich, 11 männlich) teil.

Das Wortmaterial bestand aus 75 deutschen Wörtern, die zwischen 3 und 11 Buchstaben in 1 bis 4 Silben enthielten. Das Material umfaßte insgesamt 169 Silben mit 124 kombinierten Silben-/Morphemgrenzen und 45 reinen Silbengrenzen (d.h. diese waren nicht gleichzeitig auch Morphemgrenzen), 30 reinen Morphemgrenzen und 349 Buchstabenübergängen, die keiner dieser Grenzen zugeordnet waren.

Für jeden Versuchsdurchlauf wurden die Wörter der Wortliste einzeln und in wechselnder, zufälliger Reihenfolge von einem Computer dargeboten. Zu Beginn einer Präsentation erschien gleichzeitig mit einem kurzen Computer-beep für 800 ms ein Stern an der Stelle auf dem Bildschirm, an der der erste Buchstabe des folgenden Wortes erscheinen würde. Es folgte für 200 ms ein leeres Stimulus-Fenster, in welchem dann für 400 ms das Testwort dargestellt wurde. Die Vpn waren angehal-

ten, sofort nach Erkennen des Wortes mit dem Tippen zu beginnen. Den Aufruf der nächsten Testwörter bestimmten sie selbst durch Betätigung der <Eingabe>-Taste. Vor dem eigentlichen Test durchlief jede Vp einen Übungs-Vortest mit 12 Wörtern, die nicht in der Liste des Haupttests enthalten waren.

Die Versuche liefern zwei Typen von Zeitdaten. 1) Initiale Latenzen (Wortinitiale Latenzen/ IL. Das ist die Zeit vom Beginn der Stimulusdarbietung bis zum ersten Tastenanschlag). 2) Inter-Key-Intervalle (Zeitintervalle zwischen aufeinanderfolgenden Tastenanschlägen/ IKI). Wir werden in der vorliegenden Arbeit im wesentlichen über die Analyse der IKIs berichten. Von der Auswertung wurden alle "Ausreißer" (ILs > 5800 ms und IKIs > 2800 ms) sowie alle Wörter mit Verschreibungen ausgeschlossen. (Die Bestimmung der Ausreißer erfolgte nach visueller Inspektion der Daten, da gängige Kriterien (z.B. +/- 3s) wegen der nicht-normalen Verteilung der IKIs nicht sinnvoll ist). Ein Hauptfaktor in unserer Analyse war 'IKI-Typ'. Dieser Faktor klassifiziert die IKIs nach den linguistischen Grenzen, an denen die zugehörigen Buchstaben auftreten. Wir unterscheiden IKIs von Buchstaben an kombinierten Silben-/Morphemgrenzen (SM-IKI), an reinen Silbengrenzen (S-IKI), an reinen Morphemgrenzen (M-IKI) und von Buchstaben, die an keiner der vorgenannten Grenzen stehen (L-IKI). Bei dem Wort /leben/ messen wir vor dem *b* ein S-IKI, vor dem zweiten *e* ein M-IKI, vor dem *l* eine initiale Latenz, die immer auch den Anfang einer Silben und einer Morphemgrenze darstellt, allerdings nicht zu den IKIs gerechnet wird. Vor dem ersten *e* und dem *n* messen wir L-IKIs.

Weitere Faktoren, die wir untersucht haben, sind: Tippgeschwindigkeit, Worthäufigkeit, Silbenhäufigkeit, Silbenposition im Wort, Buchstabenposition in der Silbe, Buchstabenhäufigkeit, Wortlänge (in Buchstaben), Silbenlänge (in Buchstaben), Anzahl der Silben im Wort, Komplexität des Silbenanfangsrandes, Silbenbeginn (Konsonant vs. Vokal) und Silbenakzent. Die Häufigkeiten von Wörtern und Silben wurden auf der Basis der CELEX-Daten berechnet.

### *Ergebnisse*

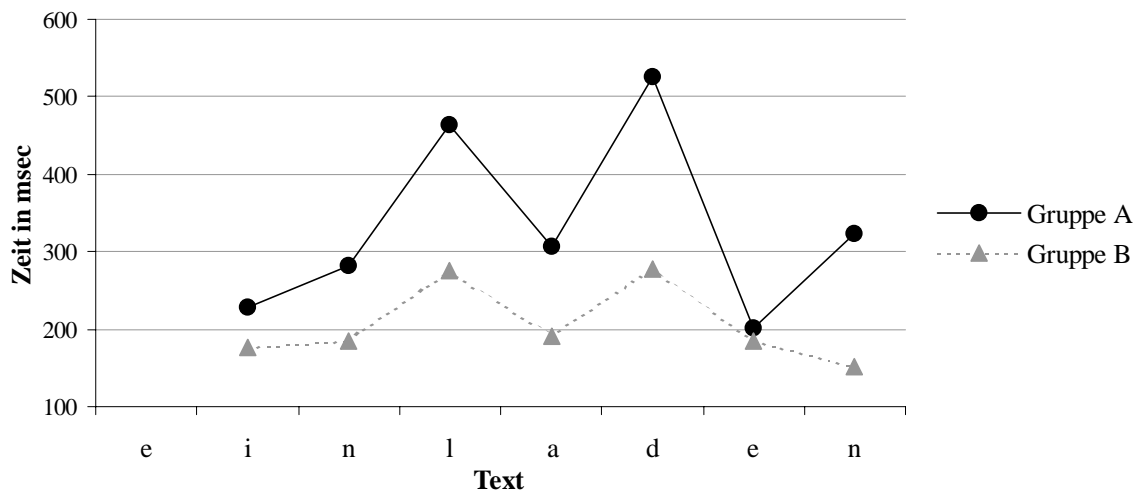
Die durchschnittliche Tastenübergangszeit ohne die wortinitialen Latenzen betrug 287 ms und variierte bei den Vpn zwischen 167 und 569 ms. Das entspricht einer durchschnittlichen Schreibgeschwindigkeit von ca. 42 Wörtern/min mit einer Variation von 72 bis 21 Wörtern/min. Um den Einfluß des Faktors Schreibgeschwindigkeit zu überprüfen, wurden die Vpn in zwei gleich große Geschwindigkeitsgruppen unterteilt. Für die langsamen Schreiber (Gruppe A) ergab sich eine durchschnittliche Schreibgeschwindigkeit von 34 Wörtern/min und von 58 Wörtern/min für die schnelleren Schreiber (Gruppe B). Die Daten wurden für jedes einzelne Wort über alle Vpn der jeweiligen Gruppe gemittelt.

In beiden Gruppen korrelierten die wortinitialen Latenzen schwach mit Eigenschaften des gesamten Wortes: positiv mit der Wortlänge, negativ mit der Anzahl der Silben. Eine stärkere Korrelation fand sich dagegen mit der Länge und dem Faktor 'Vokal-/Konsonanten-Beginn' der ersten Silbe: mit Konsonantenbuchstaben anfangende Wörter zeigen, unabhängig von der Länge der ersten Silbe, eine etwas längere Latenz als solche, die mit einem Vokalbuchstaben anfangen.

Die gemittelten Meßwerte wurden einer multifaktoriellen Varianzanalyse mit den im Folgenden angeführten Faktoren unterzogen. Da sich jedoch keine signifikanten Interaktionen der hier berücksichtigten Faktoren ergab führen wir hier nur die F-Tests für die Einzelfaktoren an. Für IKI-Typ als Faktor ergab hochsignifikante Unterschiede bei den vier IKI-Typen in beiden Geschwindigkeitsgruppen: Für Gruppe A ergab sich:  $F(3,468) = 45.999$ ;  $p < 0.0001$ . Ein post-hoc-Vergleich (Scheffé) zeigte signifikante Unterschiede zwischen allen IKI-Typen mit p-Werten kleiner als 0.0001 für alle Kombinationen außer dem L/S-Vergleich ( $p = 0.023$ ).

Für Gruppe B (schnellere Schreiber) erhielten wir: ( $F(3,468) = 42.159$ ;  $p < 0.0001$ ). Ein post-hoc-Vergleich zeigte hochsignifikante ( $p < 0.0001$ ) Unterschiede bei den folgenden Paaren: M/S, M/SM, L/SM, und S/SM. Im Vergleich mit den Ergebnissen der Gruppe A waren jedoch die p-Werte der L/M- und L/S-Vergleiche leicht reduziert ( $p = 0.0039$  bzw.  $0.0735$ ).

**Fig. 1.1:** Beispiel der durchschnittlichen Inter-Key-Intervalle für das Wort 'einladen'. Gruppe A: langsame Schreiber, Gruppe B: schnelle Schreiber.

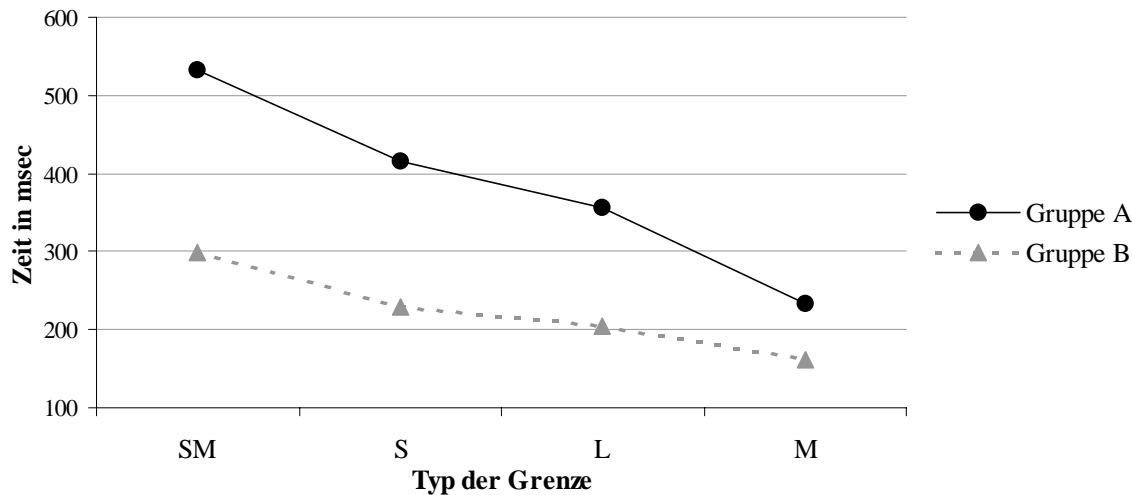


In beiden Gruppen gibt es einen signifikanten Unterschied ( $p < 0.0001$ ) zwischen L- und SM-IKIs mit einer mittleren Differenz von 297.88 ms für die langsame und 137.96 ms für die schnelle Gruppe. Der durchschnittliche Unterschied zwischen L- und S-IKIs ist 58.53 ms,  $p = 0.023$  für Gruppe A und 25.71 ms ( $p = 0.073$ ) für Gruppe B (s. auch Fig.1.2). Die Ergebnisse für langsame und schnelle Schreiber sind also in der Tendenz sehr ähnlich, unterscheiden sich jedoch in der Größe der IKIs und damit auch der Verzögerungen.

Eine eingehende Analyse hat ergeben, daß der signifikante Unterschied zwischen L- und M-IKIs auf eine Ungleichverteilung in unserem Wortmaterial zurückzuführen ist: 1) Von den 30 Buchstaben an M-Grenzen stehen 26 an zweiter Stelle in der Silbe. Aus der Literatur ist schon bekannt, daß diese Stelle einen Zeitvorteil gegenüber späteren Positionen in der Silbe hat (Ostry, 1983). 2) An diesen 26 Stellen wird der Buchstabe 'e' getippt, der in unseren Versuchen einer der 'schnellsten' Buchstaben ist. 3) 21 Buchstaben an M-Grenzen werden mit derselben Hand getippt wie der vorhergehende Buchstabe. Es ist gezeigt worden, daß eine solche Buchstabenverbindung besonders bei langsamen Schreibern einen Zeitvorteil gegenüber Buchstabenverbindungen mit Handwechsel hat (LaRochelle, 1983). Das könnte die Signifikanzunterschiede beim L/M-Vergleich der beiden Gruppen erklären.

In einer Reihe weiterer Versuche, in denen dieser Versuchsdesignfehler beseitigt wurde, trat auch kein signifikanter Unterschied zwischen L- und M-IKIs mehr auf (Will et al., eingereicht). Wir werden deshalb im folgenden die L/M-Unterschiede, die in den hier berichteten Experimenten auftraten, nicht weiter berücksichtigen.

**Fig. 1.2:** Mittlere IKI Dauer für die vier IKI Typen, aufgeteilt nach Geschwindigkeitsgruppen.



Mit der eben gemachten Einschränkung können wir also auf der Wortebene drei IKI-Typen auf der Basis von linguistischen Kriterien klar unterscheiden: IKIs an kombinierten Silben- und Morphemgrenzen haben die längste Dauer (531 bzw. 298 ms für die beiden Gruppen); IKIs an reinen Silbengrenzen haben eine mittlere Dauer von 414 bzw. 229 ms, und IKIs von intrasilbischen Buchstaben haben die kürzeste Dauer (346 bzw. 200 ms für die L-IKIs).

Weitere Analysen haben nun gezeigt, daß diese drei IKI-Typen nicht nur verschiedene Dauern haben, sondern auch deutlich von unterschiedlichen Faktoren beeinflusst werden: Alle IKI-Typen werden durch die Schreibgeschwindigkeit beeinflusst. Die Dauer der L-IKIs (intrasilbische Buchstaben) wird signifikant von der Silbenfrequenz (negativ) beeinflusst, während die Dauer der S- und SM-IKIs damit nicht korreliert. Die SM-IKIs zeigen eine deutliche Abhängigkeit von der Wortfrequenz, die S-IKIs dagegen nicht. Wenn wir das Wortmaterial in hoch- (H) und niederfrequente (L) Wörter aufteilen, so erhalten wir:

SM: Gruppe A: mittl. Diff. L/H: 75.072 ms;  $p = 0.027$ ; Gruppe B: mittl. Diff. L/H: 27.214 ms;  $p = 0.10$ .  
 S: Gruppe A: mittl. Diff. L/H: 11.781 ms;  $p = 0.701$ ; Gruppe B: mittl. Diff. L/H: 12.412 ms;  $p = 0.267$ .

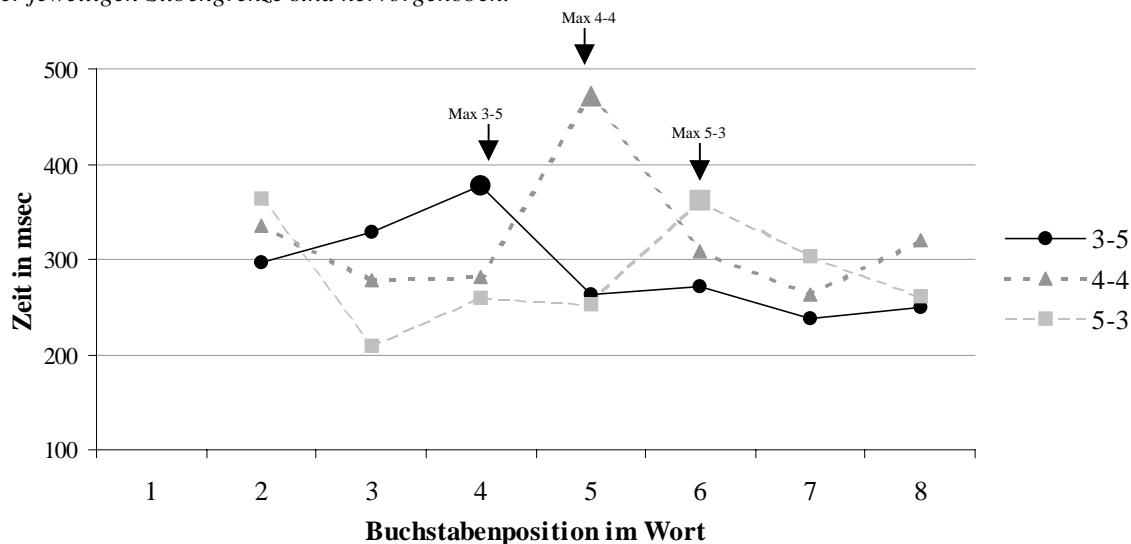
Wortlänge (in Anzahl von Buchstaben) und Betonung der Silben zeigten keinen Einfluß auf die Dauer der S- und SM-IKIs. Die Silbenposition innerhalb der Wörter scheint einen umgekehrten Einfluß auf die Dauer der S- und SM-IKIs zu haben (S-IKIs nehmen mit späteren Silbenpositionen leicht zu, SM-IKIs dagegen ab), allerdings sind diese Unterschiede statistisch nicht signifikant.

Die Dauer der SM-IKIs ist durchgehend geringer, wenn ihnen ein weiterer SM-IKIs folgt, als wenn ihnen ein S-IKIs folgt. Die Unterschiede betragen 42.22 ms für Gruppe A und 27.46 ms für Gruppe

B; diese Differenzen werden aber nur für die letzte Gruppe der schnelleren Schreiber signifikant ( $p = 0.088$ ), wogegen für Gruppe A  $p = 0.212$  ist.

Verschiedene Autoren (Ostry, 1980, 1983; Sternberg et al., 1978) haben den Verlauf der IKIs bei der Wortschreibung als eine umgekehrte U-förmige Funktion beschrieben, die in der Wortmitte ihr Maximum hat und deren Form sich im Wesentlichen aus Eigenschaften der peripheren Schreibmotorik ergibt. In der hier vorgelegten Untersuchung, die Wortlängen von 3 bis 11 Buchstaben umfaßt, wie auch in weiteren Versuchen (Will et al., eingereicht), fanden wir keine Anzeichen für eine generelle Verlangsamung (i.e. Verlängerung der IKIs) zur Wortmitte hin. Vielmehr wurde das Auftreten von Maxima in der IKI-Funktion klar von der Silbenkomposition der entsprechenden Wörter bestimmt: In Abhängigkeit von der Anzahl der Silben können ein oder mehrere Maxima auftreten, deren Position an die Position der Silbengrenzen innerhalb der Wörter gebunden ist. Fig.1.3 zeigt dies deutlich am Beispiel 2-silbiger Wörter mit 8 Buchstaben.

**Fig.: 1.3:** Gemittelter Verlauf der IKIs für Wörter mit 8 Buchstaben und zwei Silben aber unterschiedlicher Position der Silbengrenze. Es wurde über folgende Wörter gemittelt: für 3-5 Wörter: 'ver-sehrt', 'hin-durch', 'Fix-stern'; für 4-4 Wörter: 'grau-blau', 'blau-grau', 'Wind-hund'; für 5-3 Wörter: 'Schin-ken', 'Kraft-akt', 'stein-alt'. Die Maxima vor der jeweiligen Silbengrenze sind hervorgehoben.



Weiterhin ließ sich auch keine generelle Verlangsamung vor diesen Maxima feststellen; im Durchschnitt aller Werte fand sich vor den Maxima an Silbengrenzen sogar eine leichte Beschleunigung:

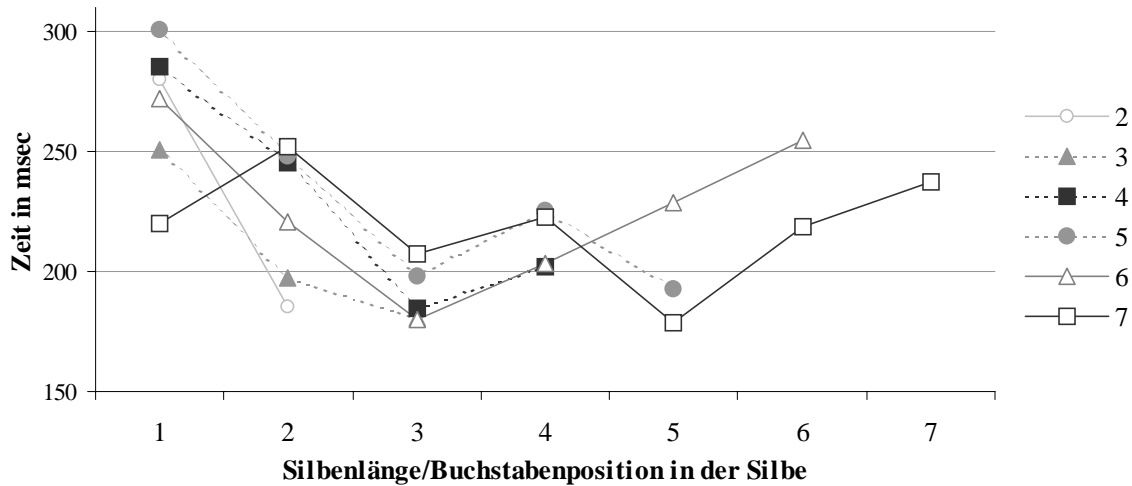
Mittlere IKI Dauer	2 Buchstaben vor	1 Buchstabe vor	an Silbengrenze
Gruppe A (langsam)	364 ms	358 ms	467 ms
Gruppe B (schnell)	206 ms	198 ms	264 ms

Wir können also sagen, daß die Verzögerungen (Vergrößerungen der IKIs) an den S- und SM-Grenzen lokal an eben diesen Grenzen und nicht am Ende einer generellen Verlangsamung während des Schreibens der vorhergehenden Silbe auftreten.

Darüber hinaus trat in der Varianzanalyse auch der Faktor 'Buchstabenposition innerhalb der Silbe' als eine die IKIs beeinflussende Komponente auf. Es ergab sich, daß Silben mit mehr als vier Buchstaben ein relatives IKI-Maximum an der vierten Buchstabenposition haben (s. Fig. 1.4). (Es ist möglich, daß an der siebten (oder sechsten) Buchstabenposition ein weiteres relatives Maximum

existiert; da wir in unserem Wortmaterial aber keine Silben mit 8 oder 9 Buchstaben haben, können wir nicht ausschließen, daß es sich bei dem Anstieg zum Ende der langen Silben um einen andersartigen Längeneffekt handelt).

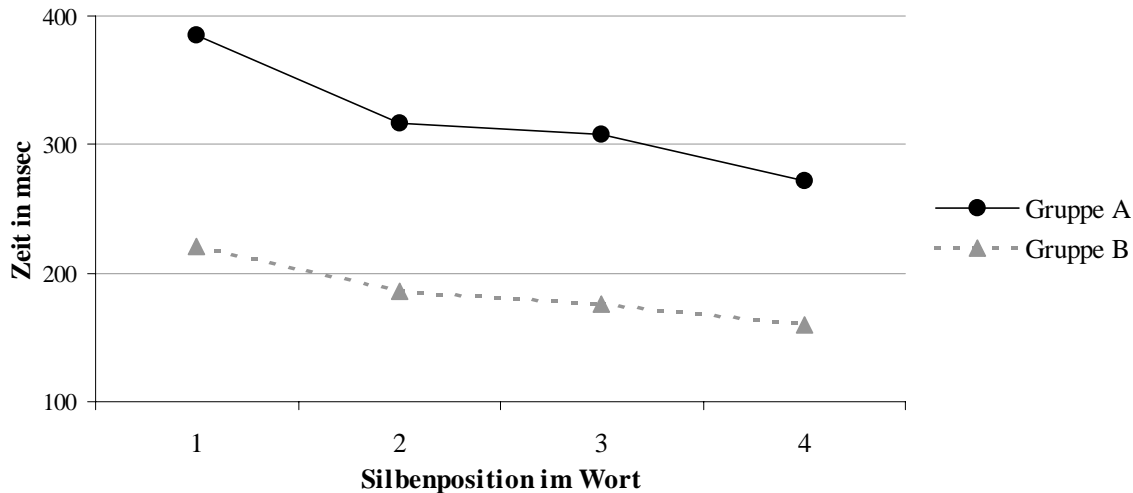
**Fig. 1.4:** Mittlere IKI-Dauer an den verschiedenen innersilbischen Buchstabenpositionen. Die Abbildung zeigt die Werte der Gruppe B (schnelle Schreiber), aufgeteilt nach Länge der Silben (in Anzahl der Buchstaben).



Die Größe des Maximums an der vierten Buchstabenposition ist bei den schnellen Schreibern ausgeprägter als bei den langsamen, und der Unterschied zur vorhergehenden Position ist nur bei der Gruppe B signifikant (durchschnittlicher Unterschied = 27.77 ms,  $p = 0.0278$ ). Dies deutet daraufhin, daß wir es hier mit einem Phänomen der Organisation der Schreibmotorik zu tun haben. Es kann so gedeutet werden, daß in der silbeninternen Verzögerung an der 4. Buchstabenposition jeweils eine neue Schreibsequenz vorbereitet wird. D.h. Silben, die länger als 4 Buchstaben sind, werden an der Peripherie in Sequenzen mit einer Länge von 3 Buchstaben abgearbeitet. Eine solche Interpretation wird gestützt durch den Befund, daß das IKI am Beginn von Silben, i.e. an der ersten Buchstabenposition, nicht monoton mit der Silbenlänge zunimmt: nach einer anfänglichen Zunahme fallen die silbeninitialen IKIs bei einer Silbenlänge von 4 und mehr Buchstaben wieder ab. Bei größeren Längen scheint sich der 'Planungsaufwand' am Beginn der Silben zu reduzieren, da noch eine weitere 'Bearbeitungsphase' folgt.

Die durchschnittliche Schreibgeschwindigkeit (berechnet ohne Berücksichtigung der wort- und silbeninitialen Latenzen) nimmt von der ersten zur letzten Silbe leicht zu. Diese Zunahme ist allerdings nur von der ersten zu den folgenden Silben signifikant.

Fig. 1.5: Mittlere IKI Dauer an der verschiedenen Silbenpositionen im Wort.



Trotz der Signifikanz der vergrößerten IKIs an Silben- und kombinierten Silben-/Morphemgrenzen gibt es eine Reihe von Wörtern, bei denen nicht alle Silbengrenzen mit solchen IKIs geschrieben wurden. Wenn wir als post-hoc Kriterium dafür, ob ein IKI vergrößert ist, einen Zuwachs von wenigstens 50 ms zum vorhergehenden IKI festlegen, ergibt sich folgendes: Von den 60 mehrsilbigen Wörtern gab es in 25 Wörtern mindestens eine Silbengrenze ohne vergrößertes IKI. Das scheint zunächst beachtlich (ca. 42%). Beziehen wir das aber auf die Anzahl der wortinternen Silbengrenzen, so sind nur 25 von 153 nicht vergrößert, d.h. ca.16%.

An Stelle eines einzelnen Faktors, der diese 'Nicht-Verzögerung' erklären könnte, fanden wir eine ganze Reihe von Faktoren, die hierzu beitragen. Da sind zunächst schreibtechnische und sprachstatistische Komponenten: Extreme Position auf der Tastatur und geringe Häufigkeit, z.B. bei den Buchstabentasten für <ü> und <x>, führen zu stark verlängerten IKIs; jedes nachfolgende IKI, ob an einer Silbengrenze oder nicht, wird dann in der Regel kleiner ausfallen. So ist beispielsweise bei der Schreibung des Wortes <Fixstern> an der Silbengrenze vor <s> keine Verzögerung festzustellen, weil das vorausgehende IKI durch die Tastaturposition von <x> stark vergrößert ist.

Des weiteren hängt der Ausfall der vergrößerten IKIs an Silbengrenzen offensichtlich mit der Wortlänge zusammen ( $\chi^2 := 17.44$ ,  $DF = 8$ ,  $p = 0.0256$ ): er nimmt mit der Wortlänge zu. Er ist auch abhängig von der Wortfrequenz ( $\chi^2 := 5.94$ ,  $DF = 2$ ,  $p = 0.0512$ ): der Anteil ist bei den niederfrequenten Wörtern größer (ca. 54%) als bei den hochfrequenten (ca. 18%). Auch die Silbenfrequenz scheint eine Rolle zu spielen ( $\chi^2 := 6.623$ ,  $DF = 2$ ,  $p = 0.0365$ ): bei 25.4% der hochfrequenten Silben, jedoch nur bei 11% der niederfrequenten findet sich ein Ausfall. Ebenso scheint der Grenztyp einen Einfluß zu haben: Ausfälle treten bei 33% der reinen Silbengrenzen auf, aber nur bei 23% der kombinierten Silben-/Morphemgrenzen. Außerdem waren alle einem Ausfall vorausgehenden Silben entweder monosilbische Grundmorpheme oder die erste Silbe eines Grundmorphems. Als weiterer Faktor führen auch Buchstabenverdopplungen, sofern sie eine Silbengrenze einschließen, zu einem Ausfall der Vergrößerung der IKIs. Generell finden wir, daß bei Verdopplungen - von denen angenommen wird, daß nicht zweimal der gleiche Buchstabe abgerufen wird, sondern daß der Buchstabe einen Verdopplungsindex erhält - das IKI des zweiten Buchstaben kürzer ist als das des

ersten. Dies gilt auch, wenn die beiden Buchstaben eine Silbengrenze einschließen, wie etwa bei <Kan-ne>. Der Verdopplungsindex scheint also auch über Silbengrenzen hinweg zu gelten und bringt für den zweiten Buchstaben einen so entscheidenden Zeitvorteil, daß keine Verzögerung an den betroffenen Grenzen mehr festgestellt werden kann.

Bevor wir die Ergebnisse dieses Experimentes diskutieren, stellen wir zunächst das zweite Experiment dar.

### *Experiment 2*

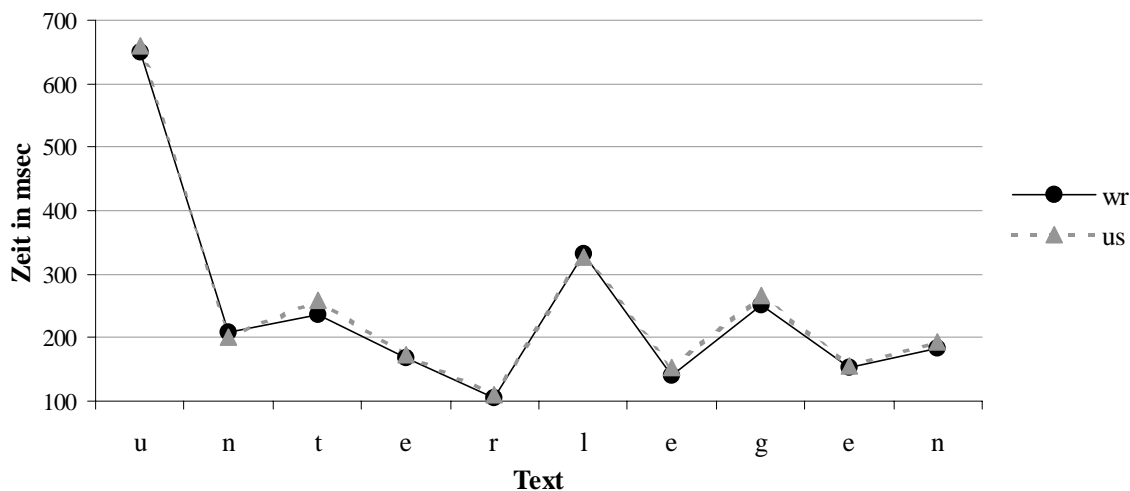
Als eine Erklärung für die vergrößerten IKIs an Silbengrenzen könnte man eine Beeinflussung durch das 'stumme Mitsprechen' während des Tippens, eine Art artikulatorisch-phonetischer Rückkopplung auf die Schreibmotorik vermuten. Von Wernicke (1874) bis Ellis (1982) ist immer wieder die bedeutende Rolle des 'inneren Mitsprechens' für den Schreibprozeß betont worden. Wenn man die subvokale Artikulation im strengen Sinne als unterschwellige Aktivierung des neuromuskulären Systems des Stimmapparates versteht, dann kann man die Hypothese aufstellen, daß diese Rückkopplung über die laryngalen Reafferenzen abläuft, die ihre Informationen auf einer zentralen Ebene an Einheiten des Schreibsystems weiterreichen. In diesem Fall würden wir Störungen des phonologischen Einflusses auf das Schreiben (z.B. Ausfall der Verzögerungen an Silbengrenzen) erwarten, wenn die Larynxmuskulatur anderweitig "beschäftigt" oder ihre Aktivierung unterbunden wird. Im folgenden Versuch haben wir diese Hypothese getestet, indem wir die Larynxmuskulatur mit dem Singen eines konstanten Tones "beschäftigt" haben.

12 der im ersten Experiment beteiligten Vpn nahmen an diesem zweiten Experiment teil, in dem das Wortmaterial das gleiche wie in Versuch 1 war. Es wurde jedoch wiederum in anderer, zufälliger Reihenfolge dargeboten. In diesem Versuch hatten die Vpn die zusätzliche Aufgabe, während des Tippens der angezeigten Wörter noch einen beliebigen konstanten Ton zu singen. Von der Auswertung wurden wiederum die Ausreißer und die falsch getippten Wörter ausgeschlossen. Wegen der kleineren Anzahl von Versuchsteilnehmern wurden die Daten jedoch nicht in verschiedene Geschwindigkeitsgruppen unterteilt.

### *Ergebnisse*

Die Varianzanalyse der über die Versuchspersonen gemittelten Daten ergab ähnliche Resultate wie im ersten Versuch: Es bestanden hochsignifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen IKI-Typen ( $F(3,468) = 43.862$ ;  $p < 0.0001$ ). Die Mittelwerte für die L-, S- und SM-IKIs waren 225.82, 249.62 und 325.54 ms, die mittleren Unterschiede zwischen L- und SM- sowie zwischen S- und SM-IKIs waren hochsignifikant ( $p < 0.0001$ ), und für den Unterschied zwischen L- und S-IKIs ergab sich ein p-Wert von 0.15.

**Fig. 2.1:** Vergleich der IKIs aus Versuch 2 mit Unterdrückung der subvokalen Artikulation (us) mit denen aus Versuch 1 (wr) für das Wort 'unterlegen'.



Wie aus Abbildung 2.1 ersichtlich, gab es keinen wesentlichen Unterschied, wenn die Ergebnisse aus Versuch 1 und 2 für die 12 Vpn, die an beiden Versuche teilgenommen hatten, miteinander verglichen wurden:  $F(1,936) = 0.210$ ;  $p = 0.6470$ . Obwohl es einen leichten Unterschied in der wortinitialen Latenz gab (in Versuch 2 waren diese im Mittel um 22.92 ms kürzer), betrug der mittlere IKI-Unterschied zwischen beiden Versuchen nur 1.83 ms und war mit einem p-Wert von 0.6675 nicht signifikant. Auch bezüglich der nicht vergrößerten IKIs an Silbengrenzen gab es keine wesentlichen Unterschiede, außer daß in diesem Versuch zwei Ausfälle weniger auftraten als in Versuch 1.

Die Beschäftigung der Larynxmuskulatur mit einer separaten Aufgabe hat also keinen signifikanten Einfluß auf die Zeitstruktur beim Schreiben. Da das Singen eines Tones die subvokale Artikulation im genannten Sinne unterdrückt hat, scheint letztere also nicht für die silbenkorrelierten Verlängerungen der IKIs verantwortlich zu sein.

### Diskussion

Die Abfolge der Tastenanschläge bei der Maschinschrift ist nicht etwa eine Sequenz gleicher Zeitintervalle, sondern zeigt eine komplexe Strukturierung. Die gängigen Theorien zur Maschinschrift (s. etwa Cooper, 1983) legen nahe, daß diese Strukturierung durch die Erfordernisse der peripheren Schreibmotorik bedingt ist. Es wird generell angenommen, daß das voll spezifizierte Wort die Eingangsinformation für das motorische System ist. Diese wird dann in ein Motorprogramm übersetzt, das zur Ausführung der Schreibaktivitäten notwendig ist. In Konsequenz heißt das, wenn das Motorprogramm erstellt ist, kann es nicht mehr dynamisch modifiziert werden. Zur Ausführungszeit des Programms kann es also weder von 'top-down'- noch von 'bottom-up'-Prozessen beeinflusst werden: Die zeitliche Ausführung des Programms ist alleine durch die Erfordernisse des motorischen Systems bedingt. So zeigen verschiedene Untersuchungen, unter anderem auch unsere eigenen, daß die Intervalle der Tastenanschläge beispielsweise von der Verteilung der Anschläge auf die Finger einer Hand und auf die beiden Hände abhängen (bei geübten Schreibern sind An-

schlagsintervalle mit demselben Finger länger als solche mit verschiedenen Fingern einer Hand, und diese wiederum sind länger als Anschläge, die zwischen der linken und rechten Hand alternieren).

Die hier vorgelegten Untersuchungen, wie auch schon die Ergebnisse von Nottbusch et al. (1998), zeigen jedoch, daß auch zentrale linguistische Faktoren wie Silben- und Morphemtyp, Wort- und Silbenhäufigkeiten einen Einfluß auf die Größe der Anschlagintervalle und damit auf die Ausführung der Motorprogramme ausüben. Das heißt aber, daß die Eingangsinformation für das motorische System nicht das voll spezifizierte Wort sein kann. Außerdem kann es auch keine strikt getrennte, serielle Anordnung von 'zentralem linguistischen' und 'peripherem motorischen' System geben, beide müssen vielmehr mehrfach verzahnt ineinander greifen. Unter der Annahme, daß die Zeitintervalle den Zeitbedarf der zu den Anschlägen führenden Prozesse widerspiegeln, ergeben die Resultate unserer Versuche eine klare Zeit-(Bedarfs-)Hierarchie der Prozesse bei der Einzelwortschreibung: Die Prozesse am Wortanfang sind immer am aufwendigsten. Es folgen in abnehmender Reihenfolge die Prozesse an den kombinierten Silben-/Morphemgrenzen, an reinen Silbengrenzen, an der vierten innersilbischen Buchstabenposition und schließlich an den übrigen Buchstabenanschlägen. Die Faktoren, die die Zeiten an den jeweiligen Positionen beeinflussen, erlauben eine noch weitergehende Charakterisierung dieser Prozeßhierarchie:

Die initiale Latenz ist immer länger als die IKIs. Die ILs enthalten neben den von uns nicht weiter untersuchten Zeiten zur Stimulusverarbeitung mindestens noch zwei weitere Zeitkomponenten. Von diesen zeigt eine Komponente eine schwache Korrelationen mit Eigenschaften des gesamten Wortes. Aufschlußreich ist hier die negative Korrelation mit der Anzahl der Silben im Wort. Das bedeutet, daß zu Beginn der Wortschreibung noch nicht die gesamte Information für alle Silben bereitgestellt wird - dann wäre eine Zunahme der initialen Latenz mit wachsender Silbenzahl zu erwarten -, sondern daß die Spezifizierung späterer Silben auch später, nach Beginn der Schreibung, erfolgt.

Die IKIs an SM-Grenzen sind nicht nur größer als solche an S-Grenzen, sie werden auch von unterschiedlichen Faktoren beeinflusst. IKIs an SM-Grenzen werden von der Worthäufigkeit beeinflusst, solche an S-Grenzen dagegen nicht. Beide IKI-Typen zeigen keine Abhängigkeit von der Silbenfrequenz (die jedoch stark die L-IKIs (reine Buchstabengrenzen) beeinflusst). Bemerkenswerterweise sind die IKIs an SM-Grenzen größer, wenn ihnen eine S-Grenze folgt, als wenn sich ihnen eine weitere SM-Grenze anschließt. Damit wird die hierarchische Beziehung zwischen den IKIs an SM- und S-Grenzen geklärt: Offensichtlich schließt die Informationsverarbeitung an SM-Grenzen Information über nachfolgende Silben mit ein.

Bei Silben mit mehr als vier Buchstaben tritt nach dem dritten Buchstaben ein lokales Maximum der IKIs auf. Allerdings können wir keinen Zusammenhang zwischen dieser Position und einer linguistisch motivierten Konstituentenstruktur der Silbe feststellen. Wir gehen daher davon aus, daß dieser Effekt innerhalb der Silben auf rein motorische Bedingungen, etwa die Begrenzung des motorischen Arbeitsspeichers, zurückzuführen ist.

Die vorliegenden Versuche zur Einzelwortschreibung zeigen deutlich, daß die Wortschreibung nicht ungegliedert in einem Zuge abläuft, sondern sich in mehrere hierarchische Einheiten gliedert, die ihren Niederschlag in der zeitlichen Struktur des Schreibens finden. In der Zeitanalyse konnten neben der Ebene der Einzelanschläge (Buchstaben/Grapheme) noch weitere Ebenen bestimmt werden, die sich durch jeweils für sie charakteristische Verzögerungen und funktionelle Abhängigkeiten manifestieren. Es ist naheliegend, diese hierarchischen Einheiten als funktionell-zeitliche Rahmen aufzufassen, die erst im Verlauf des Schreibens vollständig spezifiziert werden. Diese Rahmen werden im folgenden näher erläutert:

An oberster Stelle stehen die 'Wort-Rahmen', die wohl Informationen über Hauptmerkmale von Untereinheiten wie z.B. Anzahl der Silben enthalten, nicht jedoch die voll spezifizierten Untereinheiten selbst. Dann folgen die 'SM-Rahmen', die wir aufgrund ihrer Abhängigkeit von der Wortfrequenz als lexikalischen Ursprungs betrachten können und die wir deshalb auch als 'lexikalische Rahmen' bezeichnen. Sie enthalten Informationen über die Anzahl der in ihnen enthaltenen Silben. Es folgen die 'Silben-Rahmen', deren Abhängigkeiten auf einen nichtlexikalischen, möglicherweise postlexikalischen Ursprung verweisen. Auf unterster Ebene steht dann die Abfolge der Einzelbuchstaben (Segmente) mit den auch schon von anderen Autoren beschriebenen Abhängigkeiten von motorischen und sprachstatistischen Faktoren. Aber auch hier scheint es noch eine suprasegmentale Organisation in segmentalen Triplets zu geben, die allerdings nicht von linguistischen Faktoren abhängig ist.

#### *Analyse von Tippfehlern*

Die vorgestellten Charakteristika des schriftlichen Sprachproduktionsprozesses, die sich aufgrund der Analyse der Zeitstrukturen beim Schreiben ergeben, scheinen in deutlichem Gegensatz zu den in der Einleitung genannten auf Fehleranalysen basierenden Aussagen zu stehen. Wir haben daraufhin das Fehlerkorpus, das sich im Laufe unserer Versuche zur Tastaturschreibung angesammelt hat, analysiert. Insgesamt lagen uns 812 Fehler vor, von denen 143 von der Analyse ausgeschlossen werden mußten (aufgrund nicht eindeutig typisierbarer Fehler, falscher Morpheme oder Wörter, etc.). Bei den restlichen 669 Fehlern traten folgende Typen auf: 60 Vertauschungen (von zwei direkt aufeinanderfolgenden Buchstaben), 187 Ersetzungen (durch andere Buchstaben), 286 Einfügungen und 133 Auslassungen.

Es kann hier keine vollständige Darstellung der Fehleranalyse erfolgen; wir wollen vielmehr die zwei im Zusammenhang mit der Diskussion um „Rahmen und Inhalt“ wichtigsten Ergebnisse berichten:

1) Eine interessante Untergruppe findet sich bei den Ersetzungen. Wir unterscheiden hier zwischen Ersetzungen durch Nachbartasten (alle unmittelbar an die Zieltaste angrenzenden Tasten) und Nicht-Nachbartasten (alle nicht angrenzenden Tasten). Von den 187 Ersetzungen waren 129 solche durch Nachbartasten und 57 durch Nicht-Nachbartasten. Wir fanden eine ausgeprägte Tendenz zum Austausch von Konsonanten durch Konsonanten und von Vokalen durch Vokale (K/V Statuskonservierung): Bei den 129 Ersetzungen durch Nachbartasten blieb in 99 Fällen der K/V Status erhalten, in 29 Fällen wechselte er. Für die 57 Ersetzungen durch Nicht-Nachbartasten ergab sich ein

Wechsel nur in 2 Fällen, in 55 Fällen blieb der Status erhalten. Um zu entscheiden, ob sich diese Verteilungen durch zufällige, sprachunabhängige Faktoren erklären, benötigen wir die Wahrscheinlichkeiten für die Veränderung oder den Erhalt des K/V-Status, die sich aus der Anordnung der Tasten auf der Tastatur ergeben. Dazu haben wir die Häufigkeit des Statuswechsels bzw. -erhalts für jede Buchstabentaste in bezug auf ihre Nachbartasten ausgezählt. Aufgrund der unterschiedlichen Anzahl von Vokalen und Konsonanten im Alphabet wie auch ihrer spezifischen Anordnung auf der Tastatur haben wir dabei die Häufigkeiten für diese beiden Buchstabenklassen getrennt berechnet. Der Vergleich der theoretischen Häufigkeiten mit den Daten aus unserer Fehleranalyse für die Ersetzungen durch Nachbartasten fällt folgendermaßen aus:

Nachbarn	theoretische Häufigkeit				Aufgetretene Häufigkeit			
	K/V Stuserhalt		K/V Statuswechsel		K/V Stuserhalt		K/V Statuswechsel	
	Anzahl	Prozent	Anzahl	Prozent	Anzahl	Prozent	Anzahl	Prozent
Alle	85	69,67	37	30,33	99	76,74	29	22,48
Konsonanten	77	80,21	19	19,79	86	87,76	12	12,24
Vokale	8	30,77	18	69,23	13	43,33	17	56,66

Nicht-Nachbarn	theoretische Häufigkeit				Aufgetretene Häufigkeit			
	K/V Stuserhalt		K/V Statuswechsel		K/V Stuserhalt		K/V Statuswechsel	
	Anzahl	Prozent	Anzahl	Prozent	Anzahl	Prozent	Anzahl	Prozent
Alle	391	56,67	299	43,33	55	96,49	2	3,51
Konsonanten	350	67,31	170	32,69	39	100	0	0
Vokale	41	24,12	129	75,88	16	88,88	2	11,11

Bei den Ersetzungen durch Nachbartasten liegen die aufgetretenen Häufigkeiten nahe bei den theoretischen. (Eine genaue Übereinstimmung ist nicht zu erwarten, da die Berechnung der theoretischen Häufigkeiten nur eine Annäherung ist; z.B. müßten für eine genauere Bestimmung auch die Buchstabenhäufigkeiten in den Versuchen berücksichtigt werden, etc.). Dieses Ergebnis kann so gedeutet werden, daß bei den Ersetzungen durch Nachbartasten die Verteilung im Wesentlichen durch das Design der Tastatur und zufällige Anschläge falscher Tasten erklärt werden kann.

Bei den Ersetzungen durch Nicht-Nachbartasten finden wir dagegen markante Abweichungen von den theoretischen Verteilungen: Es findet sich kein Statuswechsel bei den Konsonanten; bei den Vokalen finden wir statt der 75,88% Statuswechsel nur insgesamt 11,11%. Diese beachtlichen Abweichungen von den theoretischen Werten und die gemeinsame Tendenz dieser Abweichungen rechtfertigt folgende Interpretation: Bei den Ersetzungen durch Nicht-Nachbartasten gibt es eine ausgeprägte Tendenz zum K/V-Stuserhalt. Eine solche Tendenz ist unseres Wissens nach für Fehler in der Tastaturschreibung bisher nicht beschrieben worden; es gibt dagegen Hinweise auf eine solche Tendenz in der Handschrift (Marini & Blanken, 1996; Caramazza & Miceli, 1990; McCloskey et al., 1994). Analog zum K/V-Stuserhalt der Phoneme in der gesprochenen Sprache scheint es in der geschriebenen Sprache eine Tendenz zum K/V-Stuserhalt der Grapheme zu geben, die einschränkend auf die Fehlermöglichkeiten einwirkt.

2) Die Verteilung der Fehler über die verschiedenen Buchstabenpositionen in den Silben zeigt keine deutliche Tendenz, d.h. sie ist angenähert gleichverteilt. Bei den Vertauschungen, die in unseren Daten nur zwei unmittelbar benachbarte Buchstabenpositionen betreffen, ist es nun interessant zu fragen, ob ihr Auftreten an Silben- bzw. kombinierten Silben/Morphemgrenzen auch einer solchen

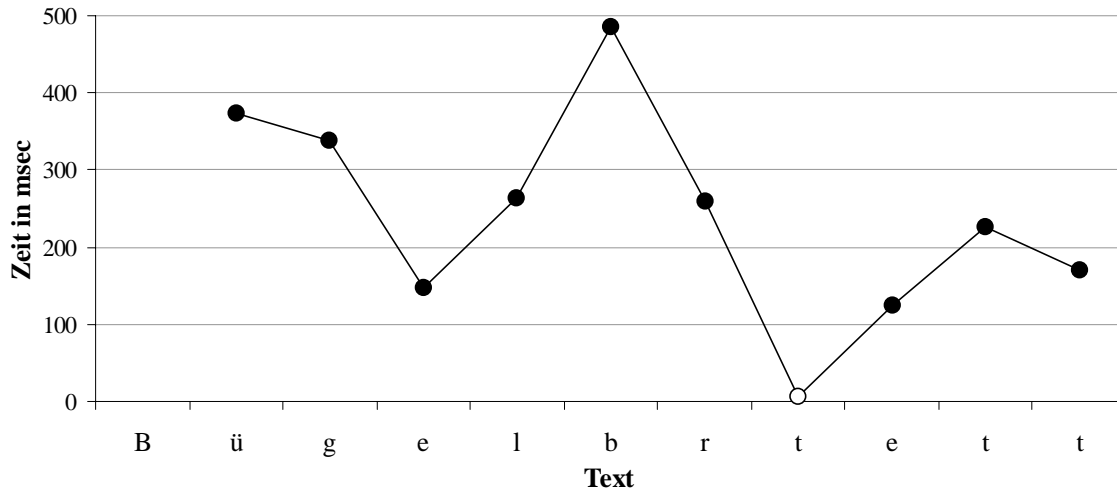
Gleichverteilung entspricht. Unter den 60 Vertauschungsfehlern finden sich drei, die eine Silbengrenze, und zwei, die eine kombinierte Silben-/Morphemgrenze einschließen. Wenn wir auch hier die tatsächliche mit der theoretischen Verteilung vergleichen, dann ergibt sich folgendes: In den 60 Wörtern mit Vertauschungsfehlern gibt es 341 mögliche Positionen für intrasilbische Vertauschungen, 31 Positionen für reine Silbengrenzen übergreifende und 52 für kombinierte Silben-/Morphemgrenzen übergreifende Vertauschungen. Bei einer Gleichverteilung der Fehlerpositionen wäre ein Auftreten dieser drei Gruppen im Verhältnis von 341: 31: 52 oder 80.42% : 7.31% : 12.26% zu erwarten. Tatsächlich treten sie aber im Verhältnis von 55:3:2 oder 91.66% : 5,00% : 3.33% auf. Es zeigt sich eine merkliche Tendenz zur Vermeidung von Austauschfehlern über kombinierte Silben-/Morphemgrenzen hinweg. Es ist möglich, daß diese Tendenz auch für reine Silbengrenzen gilt; dies ist aber z.Zt. aufgrund der niedrigen Fallzahl bei den Austauschfehlern nicht klar zu entscheiden.

Einerseits zeigt sich, wie schon von anderen Autoren beschrieben (Grudin, 1983; MacKay, 1993; MacNeilage, 1964), auch in unseren Ergebnissen die Existenz charakteristischer Fehler, die nur in der Maschinenschrift auftreten bzw. nur in ihr möglich sind. Andererseits zeigen diese Ergebnisse auch, daß die eingangs angeführte Behauptung MacKays über die Nichtexistenz fehlerbeschränkender Auswirkungen von Silben und Morphemgrenzen in der Tastaturschreibung zurückgewiesen werden muß. Es scheint auch bei den Tippfehlern eine Hierarchie zu bestehen, die allerdings umfassender sein dürfte als z.B. von Grudin (1983) angenommen wird, der sie auf die Ebene der Schreibmotorik begrenzt. Durch den Nachweis der Existenz von sequentiellen Klassenregularitäten im Sinne MacKays (1987), d.h. durch die Tendenz zum Erhalt des K/V-Status, sowie durch die Vermeidung von Silbengrenzen übergreifenden Vertauschungen bekräftigt die Fehleranalyse die aus der Zeitstrukturanalyse gewonnenen Unterscheidungen von Segmenten und Rahmen ebenso wie die Differenzierung von reinen Silben- und kombinierten Silben-/Morphemrahmen. Sie bestätigt so die eingangs zitierte, vorausweisende Vermutung von Ellis. Die Bedeutung der Tatsache, daß wir in unseren bisherigen Versuchen keine K/V-Status erhaltende Vertauschungen zwischen Silben (i.e. über Silbengrenzen hinweg) gefunden haben, ist noch nicht ganz klar. Dies könnte einerseits auf die Versuchsbedingungen zurückzuführen sein, also die Tatsache, daß es sich in unseren Versuchen um Einzelwortschreibungen handelte. Es ist aber auch möglich, daß dieses Ergebnis auf grundlegende Unterschiede zwischen schriftlicher und mündlicher Sprachproduktion verweist. Es ist z.B. denkbar, daß wegen der langsameren Produktionsgeschwindigkeit beim Schreiben nur Rahmen der unteren Hierarchiestufen (i.e. Silbenrahmen) zur "Auffüllung" bereitgestellt werden und es deshalb nicht zu Vertauschungen über Rahmengrenzen hinweg kommt. Eine Entscheidung hierüber ist erst möglich, wenn wir ein entsprechendes Fehlerkorpus aus Versuchen mit Satzschreibungen vorliegen haben.

### *Methodischer Exkurs*

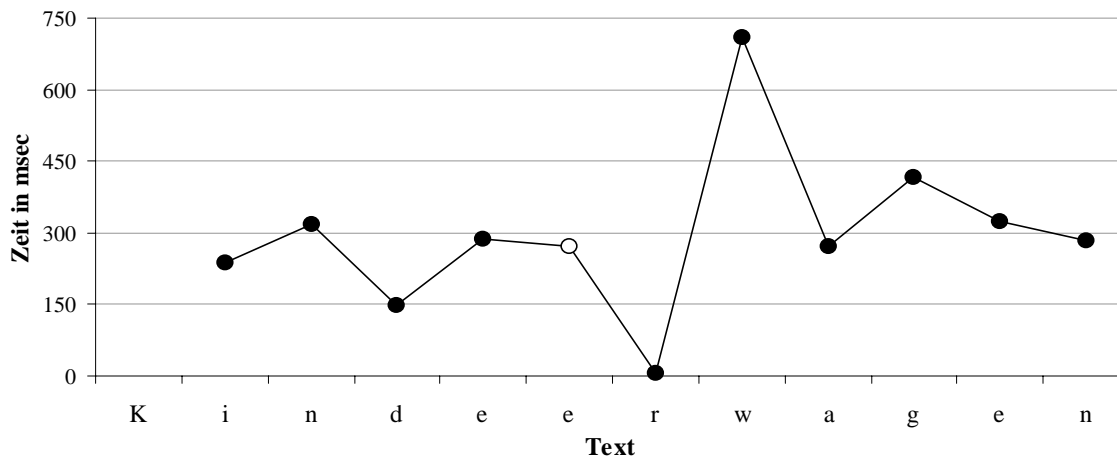
In der Fehlerforschung wurden Fehler beim Schreiben bisher ausschließlich aufgrund des geschriebenen Wortes klassifiziert. Mit der Verbindung von Fehlerforschung und Zeitmessungen beim Maschineschreiben eröffnen sich jedoch Möglichkeiten einer verbesserten Klassifizierung. So können z.B. Insertionen aufgrund zufälligen Berührens einer Nachbartaste durch die Zeitdaten erkannt werden; es tritt in diesem Fall zwischen zwei Tastenanschlägen ein extrem kurzes Zeitintervall auf:

**Fig. 3.1:** Beispiel für Inter-Key-Intervalle bei der Insertion eines Nachbarn (r(t)e) für das Wort 'Bügelbrett'



Das /t/ wird hier als Tastaturnachbar von /r / eingefügt, ersichtlich an dem nahe Null liegenden IKI vor dem /t/. Bei anderen Zeitdaten wäre die Typisierung "Nachbarschaft" nicht plausibel.

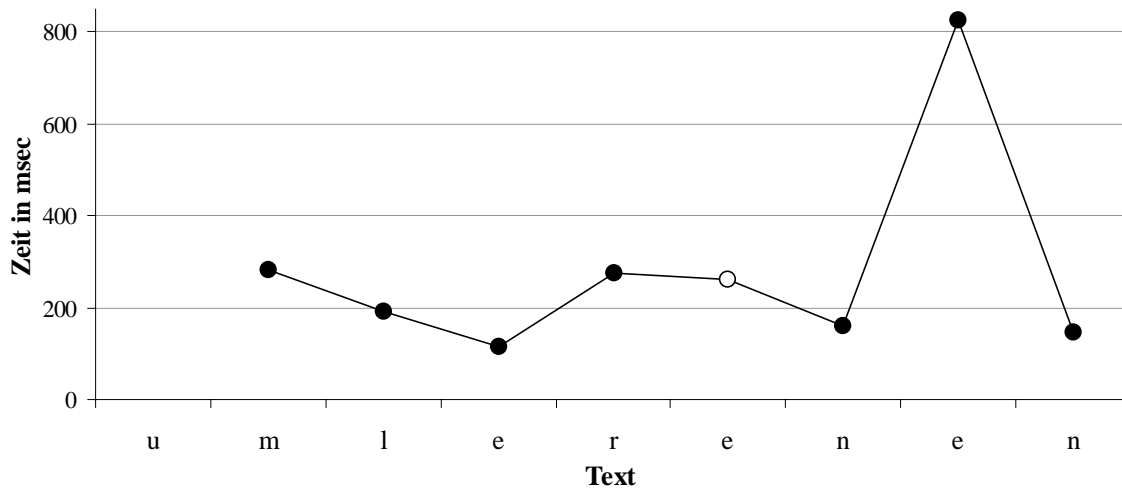
**Fig. 3.2:** Beispiel für Inter-Key-Intervalle bei der Insertion eines Nachbarn (e(e)r) für das Wort 'Kinderwagen'



Bei diesem Beispiel können wir sagen, daß zum einen das zweite /e/ insertiert wurde und nicht etwa das erste und weiterhin daß dies auf die Nachbarschaft zu dem /r/ geschah und nicht als Verdoppelung des ersten /e/.

Im folgenden Beispiel wird deutlich, daß man ohne Zeitdaten irrtümlich zu einer Kategorisierung "Nachbarfehler" kommen könnte: Das auf das /r/ folgende /e/ ist nicht durch gleichzeitiges Drücken zweier Tasten - /r/ und sein Nachbar /e/ - zu erklären, sondern muß auf einen anderen, möglicherweise weniger an der Peripherie liegenden Prozeß zurückgehen.

**Fig. 3.3:** Beispiel für Inter-Key-Intervalle bei der Insertion eines Nachbarn (*r(e)n*) für das Wort 'umlernen' (das Maximum auf dem vorletzten Buchstaben ist wahrscheinlich durch das Bemerkten des Fehlers bedingt).



### Schluß

In dieser Arbeit haben wir Daten aus zwei verschiedenen Bereichen der schriftlichen Sprachproduktionsforschung, der Zeitanalyse und der Fehleranalyse, vorgestellt, die wir so interpretieren, daß die schriftliche Sprachproduktion ebenso wie die mündliche mit verschiedenen, hierarchisch aufeinander bezogenen Rahmen und segmentalen Inhalten arbeitet. Es erhebt sich natürlich die Frage, ob die hier beschriebenen Rahmen mit den für die mündliche Sprachproduktion beschriebenen gleichzusetzen sind bzw. inwieweit gemeinsame Wege beschritten werden. Einerseits gibt es verblüffende Ähnlichkeiten zwischen dem hier angedeuteten Modell des Schreibens und etwa dem Levelt'schen Modell des Sprechens: In beiden gibt es drei hierarchische Hauptebenen - eine suprasilbische, eine silbische und eine segmentale. Es scheint auch Übereinstimmungen im Detail zu geben: Bei Levelt wird *Grundinformation* über die Silben aus dem Lexikon abgerufen, die segmentale Spezifizierung ist aber ein postlexikalischer Prozeß. Analog finden wir Information über Anzahl und Anordnung der Silben im 'lexikalischen' SM-Rahmen; die Silben-Rahmen scheinen aber selbst nicht von lexikalischen Prozessen abhängig zu sein. Unklar ist dagegen zur Zeit die Beziehung zwischen Levelts 'metrical frames' und unseren SM-Rahmen und/oder Wort-Rahmen. Unsere Zeitanalysen haben bisher keinen Hinweis darauf erbracht, daß Akzente irgendeinen Einfluß auf die Zeitstruktur beim Schreiben haben. Es wäre natürlich möglich, daß die im Lexikon abgerufenen Rahmen sowohl die Information der 'metrical frames' als auch die unserer 'SM-Rahmen' enthalten und daß jeweils, dem aktivierten Produktionsmodus (sprechen/schreiben) gemäß, nur die relevante Information weiterverarbeitet wird. Dem steht aber entgegen, wie Levelt in seinem Kommentar zum Artikel von MacNeilage (s. den Anhang zu MacNeilage 1998) noch einmal klar sagt, daß die gespeicherten metrischen Wort-Rahmen in seinem Model nur eine Rolle bei den Wörtern spielen, die "nondefault stress", also eine nichtreguläre Akzentverteilung haben - und das ist lediglich ein kleiner Teil des Wortschatzes. Dagegen finden wir unsere Wort- und SM-Rahmen bei allen untersuchten Wörtern. Es gibt in unseren Versuchen zwar einige Ausfälle bei SM-Rahmen innerhalb der Wörter, diese Ausfälle korrelierten aber nicht mit irregulären Wortakzenten.

Wie auch immer sich dieses Verhältnis von Levelt'schen metrischen Rahmen und unseren SM- oder Wort-Rahmen aufklären wird, die Tatsache, daß Untersuchungen des Sprechens wie des Schreibens auf ähnliche Organisationsprinzipien stoßen, ist natürlich kein Zufall, sondern verweist darauf, daß beide Produktionsprozesse auf die gleichen zentralen Ressourcen zurückgreifen. Das Überraschende ist, daß Strukturen, die bisher als für die mündliche Sprachproduktion typisch angesehen wurden, sich auch im Schreibprozeß nachweisen lassen.

Die Autoren danken den Kollegen G. Blanken, R. Dietrich, Th. Pechmann, P.Zwitzerlood und U.Schade für ihre Kritik und Kommentare zu diesem Manuskript.

### Literatur:

- Caramazza, A. & Miceli, G. (1990): The structure of graphemic representations. *Cognition*, 37, S. 243-297.
- Cooper, W.E. (1983): *Cognitive Aspects of Skilled Typewriting*. New York, Heidelberg, Berlin: Springer.
- Dell, G.S. (1988): The retrieval of phonological forms in production: Tests of predictions from a connectionist model. *Journal of Memory and Language*, 27, S. 124-142.
- Fromkin, V.A. (1971): The non-anomalous nature of anomalous utterances. *Language*, 47, S. 27-52.
- Ellis, A.W. (1982): Spelling and writing (and reading and speaking). In: A.W. Ellis (ed), *Normality and pathology in cognitive functions*. London: Academic Press, S. 113-146.
- Grudin, J.T. (1983): Error Patterns in Novice and Skilled Transcription Typing. In: W.E. Cooper (ed), *Cognitive Aspects of Skilled Typewriting*. New York, Heidelberg, Berlin: Springer, S. 121-139.
- Larochelle, S. (1983): A Comparison of Skilled and Novice Performance in Discontinuous Typing. In: W.E. Cooper (ed), *Cognitive Aspects of Skilled Typewriting*. New York, Heidelberg, Berlin: Springer, S. 67-94.
- Lashley, K.S. (1951): The problem of serial order in behavior. In: L.A. Jeffress (ed), *Cerebral mechanisms in behavior*. New York: Wiley, S. 112-136.
- Levelt, W.J.M; Roelofs, A. & Meyer, A. (1999): A theory of lexical access in speech production. *Behavioral and Brain Sciences*, 22, S. 1-75.
- McCloskey, M.; Badecker, W.; Goodman-Schulman, R.A. & Aliminosa, D. (1994): The structure of graphemic representation in spelling: Evidence from a case of acquired dysgraphia. *Cognitive Neuropsychology*, 11, S. 341-392.
- MacKay, D.G. (1987): Constraints on theories of sequencing and timing in language perception and production. In: Allport, Alan et al. (eds.), *Language Perception and Production: Relationships between listening, speaking and writing*, London: Academic Press, S. 407-429.
- MacKay, D.G. (1993): Slips of the Pen, Tongue, and Typewriter: A Contrastive Analysis. In: Blanken, G.; Dittmann, J.; Grimm, H.; Marshall, J. & Wallesch, C.W. (eds.), *Linguistic disorders and Pathologies*. Berlin: De Gruyter, S. 66-72.
- MacNeilage, P.F. (1964): Typing errors as clues to serial ordering mechanisms in language behavior. *Language and Speech*, 7, S. 144-159.
- MacNeilage, P.F. (1985): Serial ordering errors in speech and typing. In: V.A. Fromkin (ed), *Phonetic linguistics: Essays in honor of Peter Ladefoged*. Orlando: Academic Press, S. 193-201.
- MacNeilage, P.F. (1998): The frame/content theory of evolution of speech production. *Behavioral and Brain Sciences*, 21, S. 499-546.
- Marcel, T. (1980): Phonological awareness and phonological representation: Investigation of a Specific Spelling Problem. In: U. Frith (ed), *Cognitive processes in Spelling*. London: Academic Press, S. 373-404.
- Marini, V. & Blanken, G. (1996): Orthographie ohne Phonologie. Ein Fall von Tiefenagraphie bei neologischer Jargon-Aphasie. *Neurolinguistik*, 10.2, S. 83-107.
- Nottbusch, G., Weingarten, R., & Will, U. (1998): Schreiben mit der Hand und Schreiben mit dem Computer. *OBST*, 56, S. 11-27.

- Ostry, D.J. (1980): Execution-time movement control. In: G.E. Stelmach & J. Requin (eds), *Tutorials in motor behavior*. Amsterdam: North-Holland, S. 457-468.
- Ostry, D.J. (1983): Determinants of Interkey Times in Typing. In: W.E. Cooper (ed), *Cognitive Aspects of Skilled Typewriting*. New York, Heidelberg, Berlin: Springer, S. 225-246.
- Roeltgen, D.P. (1997): Agraphia. In: T.E. Feinberg & M.J. Farah (eds), *Behavioral Neurology and Neuropsychology*. New York: McGraw-Hill, S. 209-217.
- Shaffer, L.H. (1978): Timing in the Motor programming of Typing. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 30, S. 333-345.
- Shattuck-Hufnagel, S. (1979): Speech errors as evidence for a serial ordering mechanism in sentence production. In: W.E. Cooper & E.C.T. Walker (eds.), *Sentence processing: Psycholinguistic studies presented to Merrill Garrett*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Sternberg, S.; Monsell, S.; Knoll, R.L. & Wright, C.E. (1978): The latency and duration of rapid movement sequences: Comparisons of speech and typewriting. In: G.E. Stelmach (ed), *Information processing in motor control and learning*. New York: Academic Press, S. 117-152.
- Wernicke, C. (1874): *Der aphasische Symptomkomplex*. Breslau: M. Cohn & Weigert.
- Weingarten, R. (1997): Wortstruktur und Dynamik in der schriftlichen Sprachproduktion. *Didaktik Deutsch*, 2, S. 10-17.
- Will, U.; Weingarten, R.; Nottbusch, G. & Albes, Ch. (eingereicht): Linguistic units, hierarchies and dynamics of written language production.
- Wing, A.M. (1980): The height of handwriting. *Acta Psychologica*, 46, S. 141-151.

#### APPENDIX: Wortmaterial der beschriebenen Versuche

abgelaufen	Hausgarten	ran	untermauern
aufsagen	Haustür	sagen	untersinken
ausheben	hindurch	Sandstrand	Unterstand
Bar	Holzseite	Schinken	unversehrt
Betonklotz	Jahr	Schreibhand	verlesen
Bienen	kam	sinken	versagen
Birnen	Kanne	Steckdosen	versehrt
blaugrau	Kante	steinalt	vorlesen
Boot	Kluft	Streitfall	weglegen
Bus	Knust	Stromkabel	Windhund
einladen	Kraftakt	Türschild	Wust
entheben	Kraftprotz	umfahren	Wut
entladen	Küste	[Um-fa-r@n]	Wüste
Farbfoto	leben	umfahren	zahlen
Fixstern	lehnen	[Um-'fa-r@n]	Zahn
Gartenhaus	Liebe	umlernen	Zaun
gelaufen	Linde	umringen	zerl
Gleitschuh	Lust	unterlegen	
glimpflich	Not	[Un-t@r-le-g@n]	
graublau	Ohr	unterlegen	
Handschrift	Ort	[Un-t@r-'le-g@n]	