

Sonderdruck aus:

# Methoden der Schriftbeschreibung

HISTORISCHE  
HILFSWISSENSCHAFTEN

Herausgegeben von  
Peter Rück

Bd. 4



Jan Thorbecke Verlag Stuttgart  
1999

## Argumente für die Bedeutung der impliziten Dynamik beim Lesen handgeschriebener Texte – experimentelle Daten und ein theoretisches Modell

ALF C. ZIMMER

Jeder, der mit der Lektüre handgeschriebener Dokumente zu tun hat, stellt fest, daß je häufiger man die Schrift desselben Schreibers gelesen hat, es desto leichter wird, was u. a. daran liegt, daß viele Schreiber über viele Varianten ein und derselben Buchstaben verfügen, die mit einer großen Regelmäßigkeit eingesetzt werden, die aber teilweise extrem von den Standardformen für Schreibschrift abweichen. Selbst wenn infolge Flüchtigkeit oder anderer Zufälle die geschriebenen Buchstaben nicht vollständig sind oder extreme Zufallsvarianten aufweisen, bleibt die Schrift für den mit ihr vertrauten menschlichen Leser verständlich. Diesem – wenn auch mit Mühen verbundenem – Erfolg des menschlichen Lesers bei der Entzifferung handgeschriebener Dokumente steht das Versagen technischer Systeme bei der Bearbeitung von handgeschriebenen Texten gegenüber – selbst die Entzifferung handgeschriebener Postleitzahlen ist z. Zt. mit technischen Mitteln so wenig verlässlich zu leisten, daß ein Großeinsatz problematisch bleibt. Um hier eine Identifikationsrate von mehr als 80% zu erreichen, sind mehr als 8000 Trainingsdurchgänge notwendig (MAI & SUEN, 1990); verglichen mit der menschlichen Leistung von 98% unter vergleichbaren Bedingungen (BEUN, 1973); selbst mit dem Einsatz 'künstlicher Intelligenz' sind also Computer ineffizient. Aus der Sicht der Psychologie hängen diese Probleme damit zusammen, daß Handschrift die – wenn auch unvollständige – Spur einer dynamischen Bewegung ist, d. h. erst wenn aus der Spur die zugrundeliegende vom Schreiber gesteuerte Bewegung rekonstruiert ist, kann mit Sicherheit auf die Intention des Schreibers geschlossen werden – dies erklärt auch, weswegen eine vom Lesenden selbst aktiv beherrschte Schriftform leichter zu lesen ist als eine nur passiv beherrschte. Die Sichtweise von Handschrift als Spur einer motorischen Handlung hat aber noch eine weitere Implikation: Die Eigenschaften des motorischen Systems können zu anderen Segmentierungen der Bewegungsfolge beim Schreiben als zu denen der einzelnen Buchstaben führen, so daß die Entzifferung zumindest teilweise nicht Buchstabe für Buchstabe erfolgen kann, sondern in größeren Komplexen, die zudem situativen Änderungen unterworfen sind, z. B. können sie davon abhängen, ob ein Text für Fremde oder für den Eigengebrauch geschrieben wird.

Dem zur Lösung dieser Fragen vorgeschlagenen Modellansatz liegen Experimente zur Produktion und Repräsentation individueller Handschrift zugrunde. Dabei stehen zwei Probleme im Vordergrund, ein eher praktisches: Warum versagen die automatischen Mustererkennungsprogramme bei Handschrift? und zum anderen ein eher theoretisches, nämlich: Was macht der menschliche Leser bei der Textentzifferung anders als automatische Systeme?

Wie schon angedeutet, wird der Kernpunkt der Argumentation sein, daß der menschliche Leser Handschrift nicht primär als visuelle Zeichenfolge wahrnimmt, sondern als Spur motorischer Aktivität. Die Kennzeichnung des spezifisch menschlichen Lesevorgangs hat daher am besten in Analogie zu den spezifischen Charakteristika motorischer Steuerung zu geschehen; deren wichtigste Eigenschaften sind:

(i) *Motorische Äquivalenz* (HEBB 1949):

Charakteristika individueller Schrift (z. B. ihre zeitlichen Relationen) bleiben invariant, selbst wenn sie z. B. von der Armmuskulatur anstelle der Handmuskulatur produziert werden;

(ii) *Komplexität* (BERNSTEIN 1967):

die Ausführung der Buchstaben bzw. Buchstabenfolgen ist gleichzeitig kontextabhängig und nicht weiter elementar zerlegbar, d. h. weder die Listen von kritischen Eigenschaften für Buchstaben (GIBSON, OSSER, SCHIFF, SMITH 1963 sowie GIBSON & LEVIN, 1955), noch die physikalischen Freiheitsgrade des Arm-Handsystems definieren die nicht mehr weiter analysierbaren Einheiten der Schreibschrift. Ähnlich wie bei der Frage nach motorischen Einheiten, müssen selbstorganisierte, d. h. in sich stabile Muster identifiziert werden.

(iii) *Variabilität der Ausführung* (SCHMIDT 1975):

lineare sowie nicht-lineare Transformationen sind möglich, die das individuell Charakteristische dennoch erhalten; d. h. unabhängig von der Skala bleibt das Verhältnis invarianter zu variablen Anteilen der Bewegung wie auch der produzierten Muster (z. B. Schrift) in etwa konstant.

In dem Umfang, wie diese Probleme andere motorische Handlungen prägen, lassen sich die Ergebnisse von diesen Handschriftexperimenten versuchsweise übertragen, um zielgerichtet Untersuchungsansätze bzw. Trainings- und Korrekturmethode zu entwickeln.

Einer der vielen verwirrenden Aspekte der Handschrift ist, daß trotz der hohen Variabilität zwischen verschiedenen Handschriften es dennoch möglich ist, handschriftliche Notizen anderer Menschen relativ einfach zu lesen. Ähnlich erstaunlich ist auch, daß trotz der hohen Variabilität der Handschrift einer einzigen Person der Schreiber dennoch mit hoher Sicherheit erkannt werden kann. Jede Theorie, die versucht, die Prozesse zu untersuchen, die der Produktion und dem Wiedererkennen von Handschrift zugrunde liegen, muß die Invarianzen und Transformationen identifizieren, die sowohl für die Variabilität wie auch für die Kommunikabilität der Handschrift erforderlich sind. Die Analyse visueller Charakteristika (visual feature analysis), die sehr erfolgreich war in der Identifikation von

gedruckten Buchstaben (siehe z.B. WINSTON 1975, LINDSAY & NORMAN 1977), hat bei der Identifikation von handgeschriebenen Buchstaben praktisch versagt (EDEN 1961, 1962, EDEN & HALE 1961). Es scheint der Fall zu sein, daß Charakteristika wie Symmetrie, oder ob ein Buchstabe aus geraden oder gekrümmten Linien zusammengesetzt wird, usw. nicht das tatsächlich Entscheidende über die Handschrift erfassen und daher die Abarbeitung von Eigenschaftenlisten als Modell für das Erkennen von handgeschriebenen Buchstaben ausscheidet. Selbst wenn Kontextinformation, wie z.B. in dem Modell von McClelland & Rumelhart (1981) berücksichtigt wird, bleiben die angeführten Probleme in etwa bestehen.

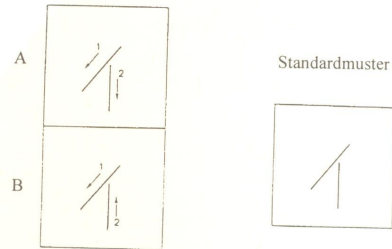
Eine andere und von der Erkennung von Handschrift vollständig getrennte Forschungsrichtung beschäftigt sich ausschließlich mit der Produktion und dem Performanzaspekt der Handschrift; sie geht aus von der 'near-miss periodicity' in der Handschrift (SHAFFER 1982, S. 116) und beschreibt die Dynamik der Handschrift als modulierten periodischen Prozeß in zwei Dimensionen (HOLLERBACH 1979, 1981; WING 1978, 1980). Diese rhythmischen Charakteristika spiegeln sehr gut die physikalischen Randbedingungen wider (z.B. die Anatomie von einer individuellen Hand/Armkombination), aber sie vermögen nicht zu erklären, warum ideosynkratische, kontextabhängige Buchstabenvarianten auftreten, auf die man sich bezieht, wenn die Schrift einer bestimmten Person identifiziert ('das ist das typische (P) von Scriptor X') wird.

Freyd's Experimente von 1983 (a) liefern eine Alternative zur Theorie visueller Charakteristika in der Buchstabenidentifikation, indem sie darauf hinweisen, daß nicht die statischen Formen selbst, sondern die dynamische Information, die aus ihnen erschlossen werden kann, entscheidend für die Identifikation der intendierten Form ist. Sie hat zwei Versuchspersonengruppen paarweise identische Strichmuster lernen lassen, die aber vor den Augen der Versuchspersonen auf zwei verschiedene Weisen erzeugt wurden. Abbildung 1 zeigt solche Muster und die Zahlen geben die Reihenfolgen an, in denen diese Muster produziert wurden.

Die Trägheit des motorischen Systems impliziert nun, daß die verschiedenen Methoden der Ausführung unterschiedliche, durch zufällige Störungen zustande gekommene Varianten der Strichfolgen implizieren; solche Varianten basieren auf nachlässigen Ausführungen ('sloppy lines' in der Terminologie von Freyd) oder in der sichtbaren Ausführung von 'Luftlinien' ('connecting lines') und sind in Abbildung 2 gezeigt, wobei jeweils sichtbar wird, welche Varianten mit welcher Produktionsmethode konsistent sind.

Zucker's (1982) Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen Gruppierung bzw. Segmentierung und Wahrnehmung von impliziten oder expliziten Richtungen weisen in die gleiche Richtung wie Freyd's (1983) Untersuchung der Strichfolge ('stroke order'): Was als das Resultat eines geschlossenen Bewegungsablaufs wahrgenommen wird, erscheint als figurale Einheit, selbst wenn lokale Symmetrie oder Näheverhältnisse eine andere Gruppierung möglich machen. D.h. die Gliederung erfolgt primär auf-

(a) Produktionsmethoden für Strichfolgen



(b) Varianten des Standardmusters

	Connecting lines	Sloppy lines	Connecting and sloppy lines
konsistent mit A			
konsistent mit B			

Abb. 1: (a) Die zwei Produktionsmethoden für das Standardmuster; numerierte Pfeile geben die Reihenfolge und Richtungen an; (b) Varianten des Standardmusters

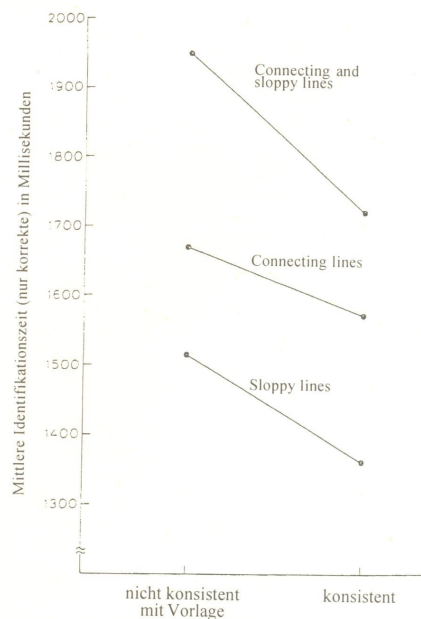


Abb. 2: Die Ergebnisse von Freyd (1983a)

gr  
gu  
pr  
im  
tu  
tiv  
Sy  
da  
me  
tur  
de  
de  
Tr  
du  
zu  
ähr  
ges  
  
die  
vor  
erlä  
lieg  
bel  
elle  
sch  
ein  
bes  
Sch  
Sch  
ges  
von  
rege  
für  
das  
daß  
  
F  
sen  
dann  
mati  
schr  
einer  
wie s  
Simr  
den l  
begit  
wick  
dem  
geme  
F  
Prod  
Kontr  
den, a  
schen  
sie Ä  
d.h. si  
grund  
Kontr  
l. Vis  
dies

grund der globalen Gruppierfaktoren (z.B. implizite Bewegung oder Richtung) und nicht aufgrund der lokalen bzw. primitiven. Mehrdeutig wird eine Form dann, wenn die implizite Bewegungsdynamik (FREYD 1983) oder die Richtungskohärenz (ZUCKER 1982) durch gleich starke primitive Gliederungs- bzw. Gruppierungsfaktoren wie lokale Symmetrie und Nähe aufgehoben werden, z.B. dadurch, daß viele lokalsymmetrische Teilstücke die gleiche Symmetrieachse aufweisen und damit eine alternative Richtung induzieren oder aber daß Formteile so nah beieinanderliegen, daß sie nicht mehr separierbar erscheinen, d.h. der Zwischenraum als Texturelement und nicht mehr als Trennung wahrgenommen wird. Diese Interpretation wird durch die weiteren Ergebnisse von Babcock & Freyd (1988) zur expliziten und impliziten Detektion von buchstabenähnlichen Formen in Abhängigkeit der Schreibmethode gestützt.

Auf dem Hintergrund dieser Ergebnisse stellt sich für die Untersuchung der Handschrift die folgende Frage: Was von der Schrift ist tatsächlich mental repräsentiert; was erlaubt das Erkennen von dynamischen Mustern; und was liegt der Schriftproduktion zugrunde? Es scheint plausibel anzunehmen, daß parallel, aber verbunden mit der visuellen Repräsentation von gedruckten Buchstaben als einer schematischen Kombination von statischen Charakteristika eine Repräsentation von handgeschriebenen Buchstaben besteht, die aus der dynamischen Version aus statischen Schemata für Druckbuchstaben besteht. Ähnlich wie die Schemata für Druckbuchstaben sind die Schemata für handgeschriebene Buchstaben charakterisiert als Kombination von Elementarbestandteilen, relativ starren Kombinationsregeln und zulässigen Transformationen. Während jedoch für Druckbuchstaben die Schemata zeitinvariant sind, ist das Charakteristische für handgeschriebene Buchstaben, daß diese Schemata sich in der Zeit dynamisch verändern.

Falls sowohl statistisches wie auch dynamisches Wissen über die eigene und fremde Handschriften vorliegt, dann muß eine Beziehung zwischen der statischen Information für Druckbuchstaben und der Dynamik handgeschriebener Buchstaben vorliegen. Ein mögliches Modell einer derartigen Beziehung ist die „Handlungsgrammatik“, wie sie von Goodnow (1972, 1977) entwickelt worden ist; Simmer (1981) hat gezeigt, daß dieses Modell recht gut den Prozeß zu beschreiben imstande ist, mit dem Kinder beginnen, Buchstaben zu schreiben. Dennoch kann die Entwicklung von hochgradig individualistischen, aber trotzdem lesbaren Buchstabenvarianten nicht durch eine allgemeine Handlungsgrammatik erklärt werden.

Freyd (1983 a) schlägt vor, daß die Wahrnehmung und Produktion von Buchstaben von einigen sensorischen Kontrollprozessen für die dynamische Form gesteuert werden, aber sie spezifiziert nicht, welcher Art diese sensorischen Kontrollprozesse sind, außer der Einschränkung, daß sie Änderungen in Raum und Zeit widerspiegeln müssen, d.h. sie sind entweder visuell und/oder kinästhetisch. Aufgrund dieser Überlegungen lassen sich drei verschiedene Kontrollmodelle unterscheiden:

1. *Visuelle Kontrolle.* Trotz der visuellen Kontrolle läßt dieses Modell zu, daß handgeschriebene Buchstaben ver-

zerrt werden aufgrund der physikalischen Charakteristika des motorischen Systems, wie z.B. Trägheit, die Beugerichtung der Gelenke oder die Kontraktionsmuster antagonistischer Muskeln (siehe WING, 1978; HOLLERBACH, 1982).

2. *Kinästhetische Kontrolle.* In diesem Modell ist der Einfluß visueller Rückmeldung auf Formatanpassung und ähnliches beschränkt. Die Tatsache, daß Menschen üblicherweise in der Lage sind, in Dunkelheit zu schreiben oder während sie einem Redner zuhören und diesen anschauen, spricht für dieses Modell der Handschrift. Der Wahrnehmungsprozeß würde in diesem Fall darin bestehen, daß sichtbare Muster unmittelbar in kinästhetisch kodierte motorische Erinnerungen übersetzt werden.
3. *Parallele kinästhetische und visuelle Kontrolle.* Dieses Modell entspricht den Ergebnissen der Hand-Auge-Koordination (für einen Überblick siehe LEE 1978). Freyd's Vorschlag, daß Handschrifterkennen ein Wahrnehmungs-/Produktionssystem sein könnte wie Sprachwahrnehmung spricht ebenfalls für einen solchen Modellansatz. Watt's (1975) Versuche, ein Kategorisierungssystem für Buchstaben zu schaffen, haben ihn veranlaßt vorzuschlagen, daß die passenden Einheiten für handgeschriebene Buchstaben 'Kineme' sind (statische Spuren von Bewegung) anstelle der üblichen diskriminierenden Merkmale; auch dies ist am ehesten mit dem Konzept der parallelen kinästhetischen und visuellen Kontrolle kompatibel. Zumindest zwei Untersuchungsmethoden sind denkbar, die eine Unterscheidung zwischen diesen drei vorgeschlagenen Modellen erlauben. Eine Möglichkeit besteht darin, daß der Einfluß von reduzierter visueller Kontrolle auf die Handschreib-Performanz untersucht wird; damit sollte es möglich sein zu bestimmen, in welchem Umfang visuelle Kontrolle für diese motorische Handlung notwendig ist. Ein anderer, eher indirekter Weg besteht darin, daß man die mentalen Repräsentationen selbst untersucht, auf denen die Kontrolle der Handschrift basiert. Diese Form der Untersuchung geht von der Annahme aus, daß die Untersuchung mentaler Vorstellungen handgeschriebener Buchstaben Rückschlüsse auf die Kontrollprozesse zuläßt; so z.B., falls eine kinästhetische Vorstellung einer Versuchsperson schneller Zugang zu den visuellen Charakteristika seiner eigenen Handschrift gibt als eine visuelle, so läßt sich daraus schließen, daß das kinästhetische Kontrollmodell eher zutrifft als sein visuelles Gegenstück.

## Experiment 1

Eine einfache Methode, um die Effektivität der visuellen Kontrolle zu reduzieren, ist die Verminderung der Beleuchtungsintensität; daher wird im ersten experimentellen Faktor die Beleuchtung in drei Stufen variiert: A1, Beleuchtung entsprechend der Normen für Schreibkräfte; A2, reduzierte Beleuchtung, die eine Kontrolle der generellen Anordnung der Schrift erlaubt, aber nicht die Wahrnehmung einzelner Buchstaben; und A3, vollständige Dunkelheit. Da es plausibel ist anzunehmen, daß zudem kontextuale und soziale Anforderungen die Kontrollmodalitäten

bei der Handschrift ebenfalls beeinflussen, wird im zweiten Faktor das Ausmaß geteilten Wissens mit dem Adressaten variiert: B1 gleich Adressat gleich Schreiber; B2 enger Freund; B3 Unbekannter.

Die Kontextvariable, geteiltes Wissen mit dem Adressaten, wurde gewählt, da man annehmen kann, daß die Charakteristika individueller Schrift differentiell von den Kontrollvariablen beeinflußt werden in Abhängigkeit vom Wissen, das der Adressat über den Schreiber und seine Schreibgewohnheiten hat. Der hauptsächliche Grund für diese Annahme ist, daß visuelle Charakteristika unmittelbar von jedem dekodiert werden können, der dieselbe Art von Handschrift benutzt, daß aber kinästhetisch kontrollierte Charakteristika nur dem Schreiber selbst unmittelbar bekannt sind und zu einem geringeren Maße mittelbar engen Freunden. Aus diesem Grunde kann das Ausmaß visueller Kontrolle von den Randbedingungen abhängen, die Freyd (1983b) „shareability“ genannt hat, und deren Wirksamkeit Zimmer (1982) bei der Mitteilung räumlicher Information nachgewiesen hat.

Die Variation der Beleuchtungsbedingungen und des Ausmaßes von geteiltem Wissen erfordern abhängige Variablen, die sowohl Lesbarkeit wie auch Performanzcharakteristika erfassen, von denen angenommen werden kann, daß sie sich unter beeinträchtigten Bedingungen verändern. Um Lesbarkeit zu bestimmen, werden zunächst zwei Variablen gemessen: Die Ähnlichkeit des geschriebenen Buchstabens mit der Standardform dieses Buchstabens und die Zeit, die notwendig ist, damit ein Leser den handgeschriebenen Text auf Fehler durchsehen kann. Es erscheint sinnvoll anzunehmen, daß ein Schreiber versuchen wird, den verschlechterten Sichtbarkeitsbedingungen dadurch entgegenzuwirken, daß er die Worte schreibt, ohne den Stift anzuheben, um nicht die Orientierung zu verlieren. Dies wiederum macht es notwendig, daß die Querstriche und i-Punkte im nachhinein eingesetzt werden, aus diesen Gründen kann angenommen werden, daß darüber hinaus Verbundenheit innerhalb der Worte und Versetzung der Querstriche und i-Punkte direkt von dem Ausmaß abhängen, in dem die Sichtbarkeit reduziert worden ist. Damit ergeben sich die abhängigen Variablen: Ähnlichkeit mit der Standardform, Lesegeschwindigkeit, Verbundenheit (Kontinuität des Schriftzuges und Versetzungen von i-Punkten und Querstrichen).

Versuchspersonen sind im ersten Experiment 24 deutsche Studenten in Psychologie, Pädagogik und Sport an der Universität von Oldenburg gewesen; sie haben freiwillig an dem Experiment teilgenommen.

#### Durchführung des Experiments

Die Versuchspersonen wurden aufgefordert, Notizen über Universitätsaktivitäten aufzuschreiben. Diese Informationen wurden ihnen unmittelbar vor jedem Experimentaldurchgang gegeben. Das experimentelle Design war eine 2-faktorielle Varianzanalyse, die unabhängigen Variablen waren „Beleuchtung“ und „Ausmaß geteilten Wissens mit dem Adressaten“; jeder Faktor variierte auf drei Stufen.

Die abhängigen Variablen waren: 1) Ähnlichkeit der Buchstaben zur Standardform, 2) durchschnittliche Suchzeit für orthographische Fehler pro Buchstaben, 3) Verbundenheit von einem Buchstaben innerhalb eines Wortes, 4) Versetzung von i-Punkten und Querstrichen für die Buchstaben t und f. Die Variablen 1 und 3 basieren auf Ratings durch 5 Grundschullehrer, Variable 2 war die Zeit, die diese Lehrer brauchten, um nach Fehlern zu suchen, Variable 3 entspricht der Häufigkeit von Lücken im Schreibfluß pro Wort, und Variable 4 ist die standardisierte Distanz der i-Punkte und Querstriche von dem korrekten Platz. Die Reliabilität der Ratings wurde durch Kendall's Konkordanzkoeffizienten (W) überprüft: Für die Ähnlichkeitsratings ist der Wert von  $W = .87$  und für die Verbundenheit ein wenig geringer ( $W = .76$ ); die anderen Variablen sind soweit objektiviert, daß sie direkt, also ohne Beurteiler, ausgemessen werden können.

Jede Versuchsperson schrieb neun Notizen, eine für jede Kombination der Bedingungen. Für den Faktor 'geteiltes Wissen' war die Folge vollständig ausbalanciert, während im 'visuelle Kontrolle'-Faktor die Bedingung normgemäßer Beleuchtung in jedem Fall an erster Stelle stand, um den Versuchspersonen genügend visuelle Kontrolle während des Experiments zu geben; die beiden anderen Stufen waren balanciert.

#### Ergebnisse

Die Mittelwerte für die abhängigen Variablen sind in Abbildung 3 wiedergegeben. Die Ergebnisse zeigen, daß die Wirkung der visuellen Rückmeldung in der Kontrolle der Handschrift stark von den Kontexteffekten beeinflußt wird. Die Wechselwirkungen sind alle signifikant, während die Haupteffekte für den Faktor „Beleuchtung“ nur signifikant sind für die abhängigen Variablen „Ähnlichkeit mit der Standardform“ und „Versetzung der i-Punkte und Querstriche“.

Die F-Werte für alle Bedingungen und abhängigen Variablen sind in Tabelle 1 gegeben, signifikante Werte ( $p(\alpha) \leq 0.05$ ) werden mit einem Stern (\*) gekennzeichnet.

#### Diskussion der Ergebnisse von Experiment 1

Wenn man die Wechselwirkungen in Abbildung 3 überprüft, stellt sich heraus, daß unter Bedingung B1 die Veränderung der visuellen Kontrolle praktisch keine Rolle spielt. Auf der anderen Seite ist die Handschrift unter Bedingung B3, wenn also für jemand Unbekanntes geschrieben wird, in allen Fällen stark beeinflußt. Die Fehlersuchzeiten (Abbildung 3b) und die Versetzungsdaten (Abbildung 3d) zeigen, daß die visuelle Kontrolle der Handschrift auf zwei verschiedenen Niveaus zusammenbricht; der Wechselwirkungseffekt in den Fehlersuchzeiten, der als Index der Lesbarkeit interpretiert werden kann, findet statt zwischen voller visueller Kontrolle und reduzierter visueller Kontrolle, danach sind die Verläufe in allen Bedingungen parallel. Dieses Niveau primärer visueller Kontrolle scheint vom expliziten Wissen über die Standardformen der hand-

Abb

gesc  
bung  
suell  
Bele  
redu  
die E  
ierlic  
nicht  
den v  
der S  
(1) Z  
tion e  
visue  
ten u  
E  
Kont  
duell  
ren. I

Indik  
(Indic

Ähnlic  
der St  
(Schul  
(Simil  
standa

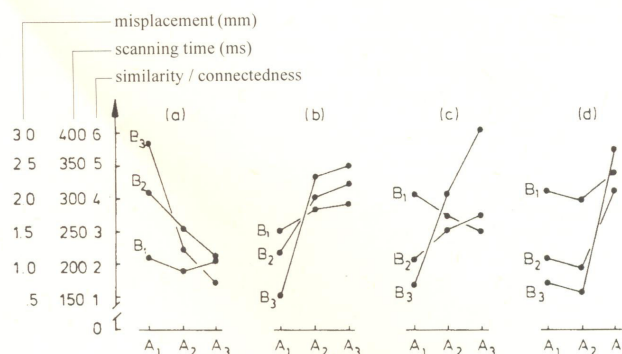
Fehler:  
(Scann

Kontin  
Schrift  
(Conti

Verset:  
Buchst  
(Mispk

Tab. 1:

Abb. 3: Mittelwerte für (a) Ähnlichkeit mit der Standardform, (b) Fehlersuchzeit pro Buchstabe, (c) Verbundenheit der Buchstaben und (d) Versetzung der i-Punkte und Querstriche. Bedingungen: „A1“ schreiben unter normgemäßen Beleuchtungsbedingungen, „A2“ schreiben unter eingeschränkten Beleuchtungsbedingungen, „A3“ schreiben in Dunkelheit. „B1“ schreiben für den Eigengebrauch, „B2“ schreiben an einen engen Freund, „B3“ schreiben an jemand Unbekanntes.



geschriebenen Buchstaben abzuhängen. Für die Verschiebungsdaten findet die deutliche Verschlechterung der visuellen Kontrolle zwischen der Bedingung reduzierte Beleuchtung und vollständige Dunkelheit statt. Während reduzierte Beleuchtung offensichtlich noch ausreicht, um die Buchstabenkomponenten, die nicht Teile des kontinuierlichen Schreibflusses sind, richtig zu placieren, ist dies nicht mehr möglich in vollständiger Dunkelheit. Diese beiden verschiedenen Punkte einer qualitativen Veränderung der Schriftcharakteristika können interpretiert werden als (1) Zusammenbruch der visuellen Kontrolle der Produktion einzelner Buchstaben und als (2) Zusammenbruch der visuellen Kontrolle der räumlichen Anordnung von Worten und Wortsegmenten.

Experiment 1 legt nahe, daß die Rolle der visuellen Kontrolle hauptsächlich darauf beschränkt ist, die individuelle Schrift für Kommunikationszwecke zu modifizieren. Das heißt, je weniger über den Adressaten gewußt

wird, desto mehr standardisiert wird die Schrift. Aus diesem Grunde ist die visuelle Rückmeldung besonders bedeutsam für die Aufrechterhaltung der Standardform. Wenn auf der anderen Seite die Versuchsperson Notizen für sich selbst schreibt, bleibt die Handschrift in etwa auf dem gleichen Niveau unabhängig von den Beleuchtungsbedingungen. Dieses Ergebnis macht die Schlußfolgerung plausibel, daß bei der Niederschrift von Notizen, die für einen selbst bestimmt sind, die Ausführungskontrolle kinästhetisch ist; diese kinästhetische Kontrolle reicht aus, weil später in der Lesephase die Versuchsperson aufgrund der Buchstabenfolgen den kinästhetischen Prozeß rekonstruieren kann und damit die intendierte Form rekonstruieren kann. Dieses Ergebnis stimmt mit Freyd's Ergebnissen (1983a) überein, wonach die sichtbaren Spuren danach interpretiert werden, welches Wissen über ihre Produktion vorliegt.

Die Ergebnisse des Experimentes 1 zeigen weiterhin, daß sowohl visuelle wie auch kinästhetische Kontrollprozesse während der Handschrift von Bedeutung sind (obwohl deutlich wird, daß die relative Bedeutung dieser Kontrollprozesse vom kommunikativen Kontext abhängt).

Hier entsteht eine weitere Frage: Wenn beide Kontrollprozesse von Bedeutung sind, wie werden sie koordiniert? Dieses Problem wird im Experiment 2 angegangen; hier wird davon ausgegangen, daß das Wissen, mit dem die Koordination durchgeführt wird, dadurch überprüft werden kann, daß man Versuchspersonen auffordert, unter verschiedenen Bedingungen sich die von ihnen geschriebenen Buchstaben vorzustellen.

### Experiment 2

Durch die Variation der Rolle der Kontrollprozesse, die bei der Herstellung eines mentalen Bildes der eigenen Handschrift benutzt werden, sollte es möglich sein abzuschätzen, welche Bedeutung den einzelnen Kontrollmodalitäten zukommt, indem man die vorgestellten Buchstaben mit den tatsächlich produzierten vergleicht. Dieser Vergleich kann dadurch hergestellt werden, daß man den Versuchspersonen spezifische Fragen über die vorgestell-

Indikator (Indicator)	Visuelle Kontrolle (Visual control)	gemeinsames Wissen (Shared knowledge)	Wechselwirkung (Interaction)
Ähnlichkeit mit der Standardform (Schulschrift) (Similarity to standard form)	3.81*	3.21*	2.51*
Fehlersuchzeit (Scanning time)	1.62	3.37*	3.01*
Kontinuität der Schrift (Continuity)	1.41	3.57*	4.07*
Versetzung von Buchstabenteilen (Misplacement)	3.26*	3.42*	3.11*

Tab. 1: F-Werte für die zweifaktorielle Varianzanalyse  
F-values for the ANOVA (2 factors, fixed effects)

ten Buchstaben stellt. Dabei ist es notwendig, nur solche Buchstaben zu verwenden, die in unterschiedlicher Weise produziert werden können, da nur diese interindividuelle und situative Variabilität aufweisen. Kriterien für solche Buchstaben sind: (1) die Form des Buchstabens muß unabhängig sein von den Schreibbedingungen; (2) der Buchstabe sollte hinreichend unterschiedlich von der Standardform sein; und (3) der Buchstabe sollte mehr als eine von vorangehenden oder folgenden Buchstaben abhängige Formvariante besitzen. Dieses dritte Kriterium wurde eingeführt, um eine hinreichende Variabilität von Fragen zu ermöglichen.

Lediglich die Buchstaben 'b', 'f' und 't' erfüllten die Kriterien für alle Versuchspersonen. Da 'b' häufig mit 'f' (siehe WING 1979) verwechselt wird, bestand die endgültige Auswahl an Reizen lediglich aus den Buchstaben 'f' und 't'. 'f' wurde 'b' vorgezogen, weil 'f' im deutschen an nahezu jeder Position in häufig benutzten Worten zu finden ist und in mehr verschiedenen Kombinationen mit vorangehenden oder folgenden Buchstaben auftritt als der Buchstabe 'b' (siehe Abbildung 4 für verschiedene kontextabhängige Varianten des Buchstabens 't').

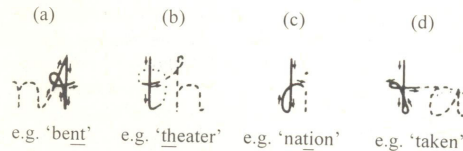


Abb. 4: Formen des kleinen Buchstabens 't' in verschiedenen Kontexten bei einer Versuchsperson (die Kontextbuchstaben sind gestrichelt, die Luftstriche sind punktiert und die Pfeile zeigen die Richtung der Schreibbewegung)

Es gibt vier verschiedene Vorstellungsinstruktionen: Versuchspersonen werden aufgefordert (1) ein statisches visuelles Bild, (2) ein dynamisches visuelles Bild, (3) ein kinästhetisches Bild oder (4) ein dynamisches visuelles und gleichzeitig kinästhetisches Bild zu produzieren. Die Anweisungen für (1) und (2) entsprechen Varianten des visuellen Kontrollmodells; die Instruktion für (3) dem kinästhetischen Kontrollmodell und die Instruktion für (4) dem visuellen und kinästhetischen Kontrollmodell. Kinästhetische Kontrollmodelle sind notwendigerweise dynamisch, während visuelle Kontrollmodelle entweder statisch oder dynamisch sein können. Aus diesem Grunde ist die Unterscheidung statisch vs. dynamisch notwendig, neben der Unterscheidung visuell vs. kinästhetische Kontrolle. Die Versuchspersonen sind dieselben wie in Experiment 1, da die individuellen Schriften benötigt wurden.

### Durchführung

In Bedingung 1 werden die Versuchspersonen aufgefordert, statische visuelle Formen aufzubauen, in Bedingung 2 dynamische visuelle Formen, in Bedingung 3 kinästhe-

tische dynamische Formen und in Bedingung 4 gleichzeitig kinästhetisch und visuell repräsentierte Formen. Die entsprechenden Instruktionen sind: 1. „Stell Dir vor, Du schaust auf eine Notiz, die Du selbst geschrieben hast, diese Notiz enthält das Wort 'Nation'. Wie sieht der Buchstabe 't' in diesem Wort aus?“ 2. „Stell Dir vor, Du siehst Dir ein Videoband an, auf dem gezeigt wird, wie Du selbst das Wort 'Elefant' schreibst. Wie sieht der Buchstabe 't' in diesem Wort aus?“ 3. „Stell Dir vor, Du sitzt im Dunkeln. Registriere die Empfindungen in Deiner Hand und Deinem Arm, während Du das Wort 'Theater' schreibst. Wie sieht der Buchstabe 't' am Anfang des Wortes aus?“ 4. „Stell Dich selbst beim Schreiben vor. Beobachte die Bewegungen an der Spitze Deines Bleistiftes und registriere die Empfindungen in Deiner Hand und Deinem Arm, während Du das Wort 'tanzen' schreibst. Wie sieht der Buchstabe 't' aus?“

Das Experiment besteht aus 30 Blöcken, 15 für 'f' und 15 für 't'. In jedem Block sind vier Versuche in zufälliger Reihenfolge, einer für jede der vier Bedingungen. Die 't'- und 'f'-Blöcke wechseln ab. Für den Buchstaben 't' hatten 12 Versuchspersonen drei konsistente Formen, 5 hatten vier konsistente Formen und 7 hatten fünf konsistente Formen; für den Buchstaben 'f' waren die entsprechenden Anzahlen 10, 7 und 7.

Um jede differierende konsistente Form gleich oft zu überprüfen, werden insgesamt 120 Worte verwandt. Typische Testfragen sind: „Ist der Querstrich mit dem senkrechten Strich noch an einer anderen Stelle verbunden als am Kreuzungspunkt?“ (statische visuelle Bedingung); „Hast Du Deinen Stift angehoben, um den Buchstaben 't' durchzustreichen?“ (andere Bedingungen). Es ist anzumerken, daß in den verschiedenen Bedingungen und bei den individuell unterschiedlichen Varianten jeweils nur die passenden Fragen gestellt werden können; entsprechendes gilt für die Bewertung der Antworten. Die Testfragen werden unmittelbar gestellt, nachdem die Versuchsperson einen Knopf gedrückt hat, um anzuzeigen, daß sie ein klares Bild des Zielbuchstabens der eigenen Schrift gebildet hat. Die Zeiten, die notwendig sind, um klare Vorstellungen aufzubauen, werden ebenso wie die Antworten mit einem Tonbandgerät festgehalten.

### Ergebnisse

Zu Beginn des Experiments haben die Versuchspersonen eine relativ lange Zeit gebraucht, um klare Vorstellungen zu bilden, aber nach einiger Zeit (ca. 7 Durchgänge) hat sich die Vorstellungszeit auf einem niedrigeren Niveau eingependelt (Abb. 5).

Die relative Häufigkeit für richtige Antworten zu den Testfragen über die Vorstellungen sind in Abbildung 6 zu finden. Um Artefakte zu vermeiden, die auf einen möglichen Trade-off zwischen Geschwindigkeit und Genauigkeit zurückzuführen sind, werden nur die Ergebnisse der zweiten Hälfte des Experimentes auf signifikante Unterschiede überprüft (Abb. 6).

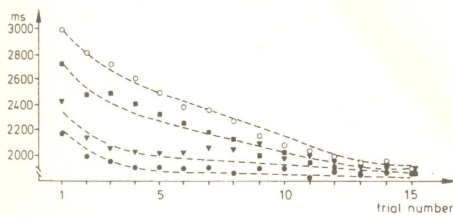


Abb. 5: Vorstellungszeiten für die verschiedenen Modalitäten in Abhängigkeit von den Durchführungen (• statische visuelle Vorstellung; ▾ dynamische visuelle Vorstellung; ■ kinästhetische Vorstellung; ◊ kombinierte visuelle und kinästhetische Vorstellung)

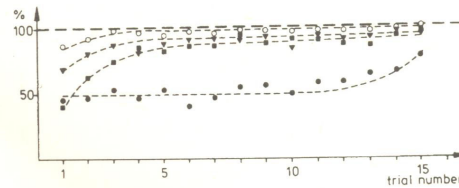


Abb. 6: Prozentsatz richtiger Antworten zu den Testfragen in den verschiedenen Modalitäten (die Symbole für die Modalitäten sind dieselben wie in Abbildung 5)

### Diskussion der Ergebnisse von Experiment 2

Es gibt einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen Bedingung 1 und allen anderen Bedingungen ( $t(14) = 3.14$ ;  $p(\alpha) \leq 0.001$ ), ein etwas kleinerer signifikanter Unterschied ist zwischen Bedingung 4 sowie den Bedingungen 2 und 3 zu finden ( $t(14) = 2.07$  und  $t(14) = 2.43$ ;  $p(\alpha) \leq 0.05$ ), aber es gibt keinen signifikanten Unterschied zwischen 2 und 3 ( $t(14) = .98$ ). Die relativen Häufigkeiten sind arcus-tangens transformiert, bevor sie statistisch analysiert wurden, um Effekte der Varianzhomogenität auszugleichen. Wenn man das Maß der Ähnlichkeit zwischen den tatsächlichen Buchstaben und den Standardformen in Betracht zieht, ergibt sich ein signifikanter Unterschied (F-Wert für die Wechselwirkung zwischen Ähnlichkeit und Vorstellungsart  $F(1;1) = 173$ ;  $p(\alpha) \leq 0.05$ ) zwischen der dynamischen visuellen Bedingung und der kinästhetischen Bedingung. Dieses Ergebnis bedeutet, daß die Buchstaben, die der Standardform relativ ähnlich waren, in der dynamisch visuellen Vorstellungsbedingung korrekter beurteilt werden als in der kinästhetischen Bedingung, während das umgekehrte für die Buchstaben zutrifft, die sehr ideosynkratisch, d.h. typisch für den Schreiber und unähnlich zur Standardform sind. Der geringfügige Anstieg des Prozentsatzes richtiger Antworten in der Bedingung statischer visueller Vorstellung gegen das Ende des Experimentes ist wahrscheinlich dadurch verursacht, daß einige Versuchspersonen der Anweisung, ein statisches Bild sich vorzustellen, nicht folgten und statt dessen eine dynamische Vorstellung produzierten. In der Befragung nach dem Experiment haben 10 Versuchspersonen spontan angegeben, daß sie nach einiger Zeit nicht mehr in der Lage gewesen seien, sich ein statisches Bild ausschließlich ins Bewußtsein zu rufen.

Wenn sich diese Ergebnisse verallgemeinern lassen, dann sind Modelle der Handschriftproduktion auszuschließen, die auf einer Synthese von statischen Charakteristika beruhen, wie es in der Arbeit von Gibson, Osser, Schiff, Smith (1963) impliziert ist. Die Interpretation, daß die Überlegenheit der dynamischen Vorstellung lediglich auf einen Trade-off zwischen Geschwindigkeit und Genauigkeit zurückgeführt werden kann, läßt sich aufgrund der Vorstellungszeiten in Abbildung 6 ausschließen: Nach Ver-

suchsdurchgang 7 gibt es praktisch keinen Unterschied mehr zwischen den Zeiten, die notwendig sind, um unter den verschiedenen Bedingungen Vorstellungen aufzubauen, dennoch bleiben auch in diesem Bereich die Unterschiede zwischen den statischen und den dynamischen Repräsentationen hoch signifikant.

### Allgemeine Diskussion

Die experimentellen Ergebnisse lassen einige vorsichtige Rückschlüsse auf das Produktionsmodell zu, das der Handschrift zugrunde liegt: Auf dem motorischen Niveau arbeiten kinästhetische und visuelle Kontrolle zusammen; beide Kontrollarten sind unabhängig repräsentiert, werden allerdings synchronisiert durch ein System auf höherem Niveau. Dieses übergeordnete Kontrollsystem ist allerdings nicht das von einigen Autoren angenommene semantische Buchstabensystem, denn die Form der Buchstaben ist deutlich vom Kontext der vorangehenden und folgenden Buchstaben beeinflusst (siehe Abbildung 4). Ein heterarchisches Kontrollmodell, das Ergebnisse einschließt, wie sie z.B. von Lindsay & Norman (1977) angenommen werden, könnte in etwa so aussehen, wie es in Abbildung 7 dargestellt ist.

Die relative Stärke der ausgeübten Kontrolle durch die verschiedenen Kontrollmodalitäten hängt, wie die Ergebnisse zeigen, in einem hohen Grade von kommunikativen Randbedingungen ab. Z.B. ist die visuelle Kontrolle dominierend, falls Schreiber und Adressat lediglich das allgemeine kulturelle Wissen über Schrift gemeinsam haben. Auf der anderen Seite überwiegt die kinästhetische Kontrolle, wenn jemand Notizen über sich selbst schreibt.

Aus beiden Ergebnissen wird deutlich, daß kinästhetisch kontrolliertes Handschreiben kein außergewöhnlicher Fall für ungünstige Situationen ist, sondern praktisch stets stattfindet und wahrscheinlich die Ursache für die deutlichen individuellen Unterschiede in der Handschrift ist, selbst wenn die Schreiber in demselben kulturellen Setting aufgewachsen sind.

Wie am Anfang, bezogen auf die Experimente von Freyd (1983a), ausgeführt worden ist, beschränkt sich jedoch die Bedeutung der Kinästhetik nicht nur auf die Pro-



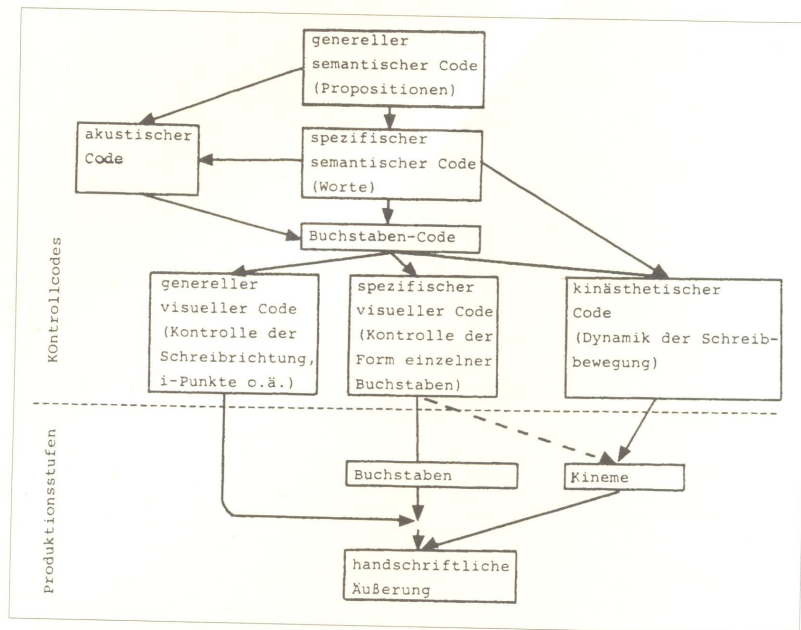


Abb. 7: Schematische Darstellung der Interaktion von Kontrollcodes bei der Handschriftproduktion

duktion von Schrift, sondern auch auf das Lesen bzw. die Entzifferung von handgeschriebenen Texten: In dem Umfang, wie der Leser in der Lage ist, aus dem Schriftbild die zugrunde liegende motorische Dynamik abzuschätzen, wird es ihm möglich sein, optisch ununterscheidbare oder zumindest sehr ähnliche Muster zu disambiguieren bzw. ideosynkratischen Mustern überhaupt eine Bedeutung zuzuordnen. Die Bedeutung der Hinweise auf zugrunde liegende motorische Prozesse und ihre Abhängigkeit von kulturellen Standards wird aus der eher anekdotischen Beobachtung deutlich, daß nämlich Japaner Schwierigkeiten haben, Kanji-Schriftzeichen zu lesen, die von Europäern nach Vorlagen gezeichnet worden sind, wobei sie sich nicht an die übliche Strichfolge gehalten haben. Dies trifft offenkundig selbst für Muster zu, die von Europäern, die nicht des Japanischen mächtig sind, nicht von den Vorlagen unterschieden werden können. Daß Japaner, die mit der lateinischen Schrift vertraut sind, solche Schwierigkeiten in geringerem Umfang haben, kann man auf deren Vertrautheit mit eben der motorischen Grammatik zurückführen, die der lateinischen Schrift zugrundeliegt und die Europäer offenkundig zunächst einmal automatisch benutzen, wenn sie Kanji-Schriftzeichen produzieren.

Selbst beim Lesen von Druckschrift scheint die Kinästhetik noch eine gewisse Rolle zu spielen, da Schriften mit Serif generell leichter zu lesen sind als solche ohne, obwohl die Unterscheidbarkeit der einzelnen Buchstaben bei 'Sanserif'-Schriften besser ist, wie aus unveröffentlichten Untersuchungsergebnissen von Zimmer hervorgeht.

Auch neuere technische Ansätze zur Handschriftenerkennung („note-pad“-Computer mit Handschrifteingabe und automatischer Unterschriftenanalyse bei computerisierten Bankvorgängen) basieren primär auf der Analyse der zeitlichen Daten, die unmittelbar mit der motorischen Dynamik zusammenhängt; dies ist aber in solchen Fällen leicht festzustellen, da sie direkt bei der Eingabe registriert wird und nicht erst aus dem abgeschlossenen Schriftbild zurückgeschlossen werden muß. Doch die hier vorgestellten Ergebnisse legen nahe, daß Techniken der automatischen Musteranalyse von handgeschriebenen Texten dadurch verbessert werden können, daß in sie die Randbedingungen eingegeben werden, die z.B. durch die Strichfolgen gegeben sind und zudem die Hinweise auf solche Strichfolgen als dynamische „features“ des vorliegenden Musters weiterverarbeitet werden.

## Literaturverzeichnis

- BARCOCK, M.K., FREYD, J.J. (1988) Perception of dynamic information in static handwritten forms. *American Journal of Psychology*, 1, 111-130.
- BERNSTEIN, A. (1967) *The coordination and regulation of movement*. New York: Pergamon Press.
- BEUN, M. (1973) A flexible method for automatic reading of handwritten numerals. *Philips Techn. Rev.*, 33, 89-101, 130-137.
- EDEN, M. (1961) On the formalization of handwriting. In: R. JACOBSON (Ed.) *Structure of language and its mathematical aspects*. Providence: American Mathematical Society.
- EDEN, M. (1962) Handwriting and pattern recognition. *Trans. IFFE*, IT8, 160-166.
- EDEN, M. & HALLE, M. (1961) The characterization of cursive handwriting. In: C. CHERRY (Ed.) *Information theory - 4th London Symposium*. Washington, D.C.: Butterworth.
- FREYD, J.J. (1983a) Representing the dynamics of a static form. *Memory & Cognition*, 11, 342-346.
- FREYD, J.J. (1983b) Shareability: The social psychology of epistemology. *Cognitive Science*, 7, 191-210.
- GIBSON, E.J., OSSER, H., SCHIFF, W., SMITH, J. (1963) Analysis of critical features of letters tested by a confusion matrix. *Coop. Res. Proj. 639*. Washington, D.C.: U.S. Office of Education.
- GIBSON, E.J. & LEVIN, H. (1975) *The psychology of reading*. Cambridge, MA.: MIT Press.
- GOODNOW, J.J. (1972) Rules and repertoires, rituals and tricks of the trade: Social and informational aspects to cognitive representational development. In: S. FARNHAM-DIGGORY, *Information processing in children*. New York: Academic Press.
- GOODNOW, J.J. (1977) *Children drawing*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- HEBB, D.O. (1949) *The organization of behavior*. New York: Wiley.
- HOLLERBACH, J.A. (1979) A competence model for handwriting. *Visible Language*, 13, 252-264.
- HOLLERBACH, J.A. (1981) An oscillation theory of handwriting. *Biological Cybernetics*, 39, 139-156.
- LEE, D.N. (1978) The function of vision. In: H. PICK & F. SALTZMAN (Eds.) *Modes of perceiving and processing information*. Hillsdale: Erlbaum.
- LINDSAY, P.H. & NORMAN, D.A. (1977) *Human Information Processing*. New York: Academic Press. (2nd ed.)
- MAI, T.A., SUEN C.Y. (1990) A generalized knowledge-based system for the recognition of unconstrained handwritten numerals. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 20, 835-848.
- MCCLELLAND, J.L. & RUMELHART, D.F. (1981) An interactive activation model of context effects in letter perception: Part I An account of basic findings. *Psychological Review*, 88, 375-407.
- MORGAN, M.J. (1977) *Molyneux's question, vision, touch, and philosophy of perception*. Cambridge: University Press.
- SCHMIDT, R.A. (1975) A schema theory of discrete motor-skill learning. *Psychological Review*, 82, 225-260.
- SHAFFER, L.H. (1982) Rhythm and timing in skill. *Psychological Review*, 89, 109-122.
- SIMNER, M.L. (1981) The grammar of action and children's painting. *Developmental Psychology*, 17, 866-871.
- STELMACH, G.E., DIGGLES, V.A. (1982) Control theories in motor behavior. *Acta Psychologica*, 50, 83-105.
- WATT, W.C. (1975) What is the proper characterization of the alphabet? I. desiderata. *Visible Language*, 9, 293-327.
- WING, A.M. (1978) Response timing in handwriting. In: G.F. STELMACH (Ed.) *Information processing in motor control and learning*. New York: Academic Press.
- WING, A.M. (1979) Variability in handwritten characters. *Visible Language*, 13, 283-298.
- WING, A.M. (1980) The height of handwriting. *Acta Psychologica*, 46, 141-151.
- WINSTON, P.H. (1975) *The Psychology of Computer Vision*. New York: McGraw Hill.
- ZIMMER, A. (1981) The cultural constraints on models of cognitive representation. In: B. WILENSKY (Ed.) *The proceedings of the 3rd annual conference of the Cognitive Science Society*. Berkeley: Cognitive Science Society.
- ZIMMER, A. (1982) What makes the eye intelligent? *Gestalt Theory*, 8, 256-279.
- ZUCKER, S.W. (1983) Computational and psychophysical experiments in grouping: early orientation selection. In: J. BECK, B. HOPE & A. ROSENFELD (Eds.) *Human and Machine Vision*. New York: Academic Press.