

B. Jacobs. 1994. Der Einfluß von Graphtyp und Graphanordnung auf das Graphverstehen bei der Analyse von Verläufen. Arbeitsbericht Nr. 13 des Medienzentrums der Philosophischen Fakultät der Universität des Saarlandes

(Postscriptfassung)

Vorwort:

In Ergänzung zum Arbeitsbericht wurden einige Toolbookdateien erstellt. Die entsprechenden Programme sollen bestimmte Abläufe des Experimentes veranschaulichen und besser verständlich machen.

Auf die gewählte Form der Darstellung wird deshalb zurückgegriffen, weil manches verbal äußerst umfangreich, umständlich und schwer nachvollziehbar ist. Außerdem sind bestimmte Dokumentationen, etwa die über die experimentellen Graphen, auf Papier äußerst schwierig realisierbar, in den Programmen hingegen im Original zu sehen. Im Arbeitsbericht wird an verschiedenen Stellen auf gezielte Themen im Programm verwiesen. Idealerweise liest man den Bericht durch und folgt den dort zum Programm vorgeschlagenen Indexpunkten.

Im Programm kann man sich informieren über

- Versuchsablauf und Versuchsplan
- alle experimentellen Bedingungen (die zugrundeliegenden Graphikvarianten)
- mögliche Verläufe einer Datenreihe (die Daten in den Graphiken)
- Konstruktionsprinzipien des experimentellen Aufbaus
- die gefundenen Ergebnisse in graphischer Form.

Außerdem können Sie 2 experimentelle Bedingungen selbst durchführen bzw. den Ablauf exakt verfolgen.

Hardwarevoraussetzungen: 486 AT - IBM-kompatibler Computer mit Farbbildschirm.

Softwarevoraussetzungen: Windows 3.1

Inhaltsverzeichnis:	Seite
1.0 Einleitung.....	1
2.0 Bisherige Forschung.....	2
3.0 Mögliche und sinnvolle Fragestellungen an graphische Präsentationen: .3	
1 Hauptfragestellung dieser Untersuchung.....	3
4.0 Die experimentellen Bedingungen dieser Untersuchung.....	4
1 Die Graphanordnung.....	4
2 Die Graphiktypen.....	4
3 Die Vergleichbarkeit der Graphikvarianten.....	5
4 Die Daten in den Graphiken.....	5
5 Die unabhängigen Variablen.....	6
6.0 Die abhängigen Variablen.....	7
1.0 Die speziellen Fragestellungen dieser Untersuchung.....	7
2.0 Die Messung der abhängigen Variablen.....	7
1 Beziehung zwischen Zeit und Genauigkeit.....	8
7 Versuchspersonen und Versuchsdurchführung	8
8 Signifikanzniveau.....	8
5.0 Hypothesen.....	8
1 Zeitpunkt der Hypothesenexplikation.....	8
2 Die wichtigsten Hypothesen.....	10
6.0 Versuchsbeschreibung und Ergebnisse	10
1.0 Erkenne Verlauf bei einer Datenreihe.....	10
1 Versuchsbeschreibung.....	10
2 Ergebnisse.....	11
3 Zeitunterschiede zwischen den Verlaufsformen bei einer Datenreihe.....	12
2.0 Das Erkennen von Verläufen bei mehreren Datenreihen und Graphanordnungen.....	13
1.0 Versuchsablauf	13
1.0 Experimenteller Aufbau innerhalb jeder Datenreihenanzahlstufe.....	13
1 Sinn des experimentellen Vorgehens.....	14
2.0 Auswertung der Daten.....	14
1 Zum Problem von Ausreißern.....	14
2 Datenverrechnung.....	15
2.0 Ergebnisse.....	15
1.0 Zeiten.....	15
1 Aufgabentyp: Welchen Verlauf hat die Datenreihe x ?.....	15
2 Aufgabentyp: Finde die Datenreihe mit Verlauf x ?.....	17
3 Ergebnisse für 8 Datenreihen für beide Fragestellungen.....	18
2 Ergebnisse zur Genauigkeit für beide Fragestellungen.....	19
3 Gesamtbewertung der Ergebnisse.....	19
7.0 Schlußfolgerungen und Diskussion.....	20
1 Graphiktyp bei einer Datenreihe.....	20
2 Graphikvariante bei einigen Datenreihen	20
3 Graphikvariante bei vielen Datenreihen.....	20
4 Ausschließliches Interesse an Verläufen bei einer Datenreihe.....	21
5 Wahrnehmung von Kurvenverläufen.....	21
Literatur.....	22
Anhang.....	22

B. Jacobs

Der Einfluß von Graphtyp und Graphanordnung auf das Graphverstehen bei der Analyse von Verläufen

Zusammenfassung:

Wenn man mehrere Verläufe graphisch darstellen will, so kann man für jede Datenreihe ein gesondertes Diagramm (Juxtaposition) oder alle Verläufe in einem einzigen Diagramm (Superposition) präsentieren. Innerhalb dieser Graphanordnung erschienen als Graphiktypen Säulendiagramm und Liniendiagramm sinnvoll. Ausgehend von der Hypothese, daß Unterschiede zwischen den Graphikvarianten mit zunehmender Schwierigkeit deutlicher hervortreten, wurde die Anzahl der Datenreihen variiert. Ziel der Untersuchung war die empirisch zu überprüfende Frage, welchen Einfluß diese 3 Faktoren auf das Erkennen von Kurvenverläufen ausüben, wobei die Wahrnehmung von Kurvensteigungsveränderungen im Vordergrund stand. Zu diesem Zweck wurde ein recht kompliziertes Computerexperiment entworfen, dem sich 20 Vpn unterworfen haben.

Wie schon früher nachgewiesen, sind Säulendiagramm und Liniendiagramm vergleichbar gut geeignet, einen Kurvenverlauf bei einer einzigen Datenreihe wahrzunehmen. Dies könnte der Grund dafür sein, daß unter der Graphanordnung Juxtaposition im wesentlichen keine Graphtypunterschiede auftreten, unabhängig davon, wie viele Datenreihen präsentiert werden. Nur unter der Anordnung Superposition wächst der Vorteil des Liniendiagramms zugunsten des Säulendiagramms mit zunehmender Anzahl der Datenreihen recht deutlich. Jedoch ist die Anordnung Superposition spätestens bei 8 Datenreihen unabhängig von Graphtyp überfordert. Das superpositionierte Liniendiagramm hält bis zu 4 Datenreihen mit der Graphanordnung Juxtaposition mit, ist jedoch bei 8 Datenreihen fehleranfälliger.

Die Untersuchung ist der erste Teil einer im weiteren geplanten umfangreichen Testserie, in deren Mittelpunkt die Spezifizierung von Interaktionen zwischen Fragestellungen und Graphikvarianten steht.

Schlagworte: Medien, Mediengestaltungsmittel, Illustration, Präsentationsmodi, Graphiken, Charts, Säulendiagramm, bar chart, bar graph, Liniendiagramm, line graph, Verlauf, trend line, Superposition, Juxtaposition, graphical perception

1.0 Einleitung und Einstieg in das Thema

Wie Jacobs (1990) nachweisen konnte, sind graphische Präsentationen bei vielen Fragestellungen einer tabellarischen Präsentation klar überlegen. Von insgesamt 10 untersuchten Aufgabenstellungen zeigte sich der durchschlagende Vorteil der graphischen Präsentation gegenüber der Tabelle beim Erkennen von Trends (Effektstärke ca. 2). Damit kann eine Grundsatzfrage des graphischen Problems von Bertin (1974). "Soll man eine Graphik anfertigen?" zumindest für diese Fragestellungen getrost mit "Ja" beantwortet werden. Während in einer Tabelle die Daten sequenziell analysiert und zum Teil kognitiv verarbeitet werden müssen, sind Verläufe graphisch zum Teil präattentiv auf einen Blick erkennbar. Die günstigere Wahrnehmung durch die Graphik erweitert so die Erkennbarkeit komplizierterer Beziehungen und ermöglicht auch die Beantwortung anspruchsvollerer Fragestellungen an einen Datensatz.

Komplexer werden Datenmengen, wenn mehrere Datenreihen gleichzeitig in einer Präsentation dargestellt werden sollen. Hier sind graphische Präsentationen praktisch notwendig, um in zumutbarer Zeit bestimmte Relationen überhaupt erkennen zu können. Es ist erstaunlich, daß gerade in solchen Bereichen, in denen Graphiken quasi konkurrenzlos die Urdaten wahrnehmbar erscheinen lassen, kaum Forschungen durchgeführt wurden, um optimale Graphiktypen oder Anordnungen aufzuspüren. Verständlich wird diese Forschungsabstinenz jedoch durch den zu erwartenden experimentellen Aufwand und möglicherweise durch eine vermeintlich antizipierte theoretische Unergiebigkeit angewandter Forschung.

Während frühere Forschung häufig noch relativ simple Fragestellungen für unterschiedliche Graphikformate analysierte (z.B. Croxton & Stein 1932, Culbertson & Powers 1963, Feliciano et al. 1963), sollen hier insbesondere Verläufe mit mehreren Datenreihen auf experimentell hohem Niveau erforscht werden. Dabei soll der Einfluß der Graphanordnung und des Graphtyps auf das Graphverstehen getestet werden, um so empirisch begründbare Antworten auf eine weitere Grundfrage von Bertin 1974: "Welche Graphik soll man anfertigen?" geben zu können.

Ein Hauptanliegen der Forschung besteht in der Formulierung theoretisch interessanter und praktisch relevanter Fragestellungen an die graphischen Präsentationen. Dazu sollen Fragestellungen entwickelt werden, welche sich vornehmlich auf Gruppen oder Gesamtheiten der Daten beziehen. Die Beantwortung dieser Fragen erfordert eine besondere Wahrnehmungsstrukturierung (graphical chunks), die je nach Graphiktyp und Graphikanordnung erleichtert oder erschwert wird. Hier interessiert hauptsächlich, ob die schnellere Beantwortung von Fragen durch bessere Wahrnehmung in den einzelnen Bedingungen zustande kommt und wie diese verbesserte Wahrnehmung begründet werden könnte.

2.0 Bisherige Forschung

Aus den sechziger Jahren sind 2 Untersuchungen von Schutz 1961 bekannt. Schutz 1961a analysierte Zeit und Genauigkeit des Erkennens bestimmter Trends für die Graphiktypen Liniendiagramm, Säulendiagramm und Balkendiagramm. Interessant ist das Vorgehen von Schutz. Zunächst mußten die Versuchspersonen eine Reihe von Regeln lernen, nach denen ein Kurvenverlauf bezeichnet werden kann. Entscheidend war dabei die Richtung (Vorzeichen der Steigung (+,-,0)) sowie das Ausmaß der Steigung (z.B. hoher Anstieg, mittlerer Anstieg (als Zahlenwerte) usw.). Erst nachdem alle Versuchspersonen diese Regeln 100-prozentig beherrschten, wurde mit dem Experiment begonnen. Vorteil dieses Vorgehens ist die Möglichkeit, sehr differenzierte Verläufe zu analysieren, Nachteil des Vorgehens ist es, daß nur ganz ausgewählte Datenverläufe getestet werden (z.B. konnten zwei nachfolgende Daten sich nur höchstens um 0.5 Skalenpunkte unterscheiden).

Schutz fand heraus, daß das Liniendiagramm bzgl. Genauigkeit und Schnelligkeit signifikant günstiger abschnitt als Säulendiagramm und Balkendiagramm. Der Unterschied Liniendiagramm vs. Säulendiagramm ist jedoch, intuitiv gemessen an der praktischen Bedeutsamkeit, sehr gering. Schutz zeigt, was keineswegs üblich ist, sehr ausführlich Beispiele der experimentellen Graphen. Aus diesen Präsentationen geht hervor, daß das Säulendiagramm aus sehr ungewöhnlich dünnen Säulen besteht (Verhältnis Säulenabstand zu Säulenbreite augenscheinlich mindestens 10), wodurch die Wahrnehmung eines Verlauf unnötig erschwert wird.

In der Untersuchung von Schutz (1961b) wurde die Graphanordnung des Liniendiagramms variiert. Anhand zweier relativ einfacher Fragestellungen fand Schutz heraus, daß Superposition niemals schlechter als Juxtaposition (Typ: Diagramme untereinander) abschnitt. Superposition erwies sich beim Größenvergleich zweier Datenreihen zu einem Meßzeitpunkt klar überlegen, während das Abschätzen eines Datenwertes in beiden Graphanordnungen vergleichbar gut gelang. Die Aufgabenstellungen in diesem von der Versuchsanordnung exzellenten 6-faktoriellen Experimentes sagen aber nichts über Verläufe aus. Sie beziehen sich nicht auf die Gesamtheit der Daten einer Datenreihe (z.B. Trends), sondern auf Einzelwerte oder sehr eingeschränkte Gruppenvergleiche. Neben weiteren Ergebnissen (S. 116) hat Schutz den wichtigen Nachweis erbracht, daß farbige Datenreihen selbst optimalisierten schwarz-weiß-kodierten Datenreihen überlegen sind.

Rinck (1989) konnte aufzeigen, daß die Graphanordnung bei der graphischen Darstellung der Ergebnisse zweifaktorieller Versuchspläne in einem Liniendiagramm (Superposition) einen bedeutsamen Einfluß auf das Graphverstehen hat. Er variierte die Platzierung der UV-Faktoren auf der x-Achse und kommt zu dem Ergebnis, daß es vorteilhafter ist, eine intervallskalierte UV (z.B. Zeitpunkte) auf der x-Achse darzustellen und den einzelnen Datenreihen die Stufen der nominalskalierten UV-Variablen zuzuordnen als umgekehrt. Die Untersuchung hat auf die Bedeutung der Graphanordnung aufmerksam gemacht, die Wirksamkeit dieser Variablen nachgewiesen und verpflichtet den Graphikdesigner darüber nachzudenken, wenn Freiheit bei der Wahl der Achsen gegeben ist. Bei klassischen Verlaufsanalysen liegt die x-Achse allerdings fest.

3.0 Mögliche und sinnvolle Fragestellungen an graphische Präsentationen

Die Menge der möglichen Fragestellungen an umfangreiche Datenmengen ist recht groß und kann zweifellos empirisch nicht umfassend überprüft werden. Ein Nachteil vieler Untersuchungen besteht darin, nur wenige, mehr oder weniger willkürliche Fragestellungen überhaupt in Erwägung zu ziehen, die dann am Ende den Eindruck hinterlassen können, bestimmte Graphikformate seien besser als andere. Es kommt aber darauf an, die "richtigen Fragen" an die Datenpräsentation zu stellen und insbesondere die Interaktion zwischen Graphikpräsentation und Fragestellung zu berücksichtigen.

So könnte man etwa Schutz (1961b) entgegenhalten, daß seine beiden Fragestellungen im Hinblick auf die graphische Darstellung von Verläufen von ziemlich untergeordnetem Interesse sind. Denn für das Ablesen von Datenwerten sind Tabellen zweifellos besser als Graphiken geeignet, und ein einfacher Vergleich zweier Größenwerte gelingt in einer Tabelle genauso gut wie in einem Liniendiagramm (Jacobs 1990). Für derartige Fragestellungen benötigt man praktisch keine graphischen Präsentationen. Allerdings will man möglicherweise auch diese Fragen aus der Graphik herauslesen.

Es sollen vornehmlich solche Fragestellungen überprüft werden, die den besonderen Vorteil einer graphischen Darstellung von Verläufen vermuten lassen.

Bertin (1974) unterteilt mögliche Fragestellungen an graphische Präsentationen in 3 Gruppen:

1. Fragen, die sich nur aus einem einzigen Element der Datenreihe ergeben: z.B.: Wie hoch ist der Größenwert zum Meßzeitpunkt x ?
2. Fragen, die sich aus einer Gruppe von Elementen ergeben: z.B.: Steigen die Werte in den ersten 3 Meßzeitpunkten an ?
3. Fragen, die sich auf die Gesamtheit einer Datenreihe beziehen: z.B.: Welchen Trend weist die Datenreihe auf?

Es sollen vornehmlich Fragen auf den Fragestufen 2 und 3 analysiert werden. Dies sind Fragestellungen, die im besonderen Maß den Vorteil von Graphiken gegenüber Tabellen erwarten lassen und die auch für wahrnehmungspsychologische Fragestellungen interessant sind. Hieraus könnten sich langfristig manche Problemstellungen ableiten, die angewandte Forschung mit "reiner Forschung" verbinden ließen, z.B.: "Wie werden bestimmte visuelle Variablen zusammengefaßt, z.B. Säulen addiert, oder Säulenmengen miteinander verglichen? Welche Wahrnehmungsprozesse gelingen präattentiv, bei welchen muß selektiv weiter gesucht werden? Wie kann die Beantwortung einer Frage in Teilprozesse zergliedert werden ? u.v.a.m..

3.1 Hauptfragestellung dieser Untersuchung

Im Mittelpunkt der vorliegenden Untersuchung steht die Frage:

Welchen Kurvenverlauf weist eine bestimmte Datenreihe auf?

Es sind weitere Untersuchungen geplant, die ausgiebig anderen Fragestellungen nachgehen und die im Endeffekt die Interaktionen zwischen Fragestellungen und Graphikformaten spezifizieren sollen. Die Frage, welches Graphikformat ist "das beste" ist ziemlich fruchtlos. Wenn man Interaktionen annimmt, muß die Frage heißen: "Welches Graphikformat ist für welche Fragestellung am besten geeignet?" Die Lösung dieser Frage impliziert aber noch keineswegs die Anwendung der entsprechenden Graphik, es sei denn, man verfolgt mit einer graphischen Darstellung lediglich die Beantwortung einer Frage. Häufig will man jedoch mehrere Fragen beantwortet wissen. Dazu muß man die Stärken und Schwächen ver-

schiedener Graphikformate hinreichend abschätzen können, um als Graphikanwender letztlich zu einer begründet vernünftigen Entscheidung zu gelangen.

Ein Graphikformat, welches hier ziemlich schlecht abschneidet, muß also mitnichten gänzlich nutzlos sein. Es kann von wesentlicher Bedeutung sein, etwa festzustellen, daß dieses Diagramm viel Zeit beansprucht, aber noch genaue Resultate zeigt, wenn dasselbe Diagramm für eine andere Fragestellung optimale Vorteile zu bieten verspricht. Aus diesem Grunde wurden alle Diagramme hier in etwa so konzipiert, daß sie prinzipiell auch für andere Fragestellungen brauchbar sein könnten.

4.0 Die experimentellen Bedingungen dieser Untersuchung

4.1 Die Graphanordnung

Als grundsätzliche Möglichkeiten der Graphanordnung (siehe dazu auch Bertin 1974, S. 109) bieten sich an:

- A) mehrere Datenreihen in einem Diagramm (Superposition, Multiple Line Diagramm nach Schutz 1961b) oder
- B) jede Datenreihe in einem gesonderten Diagramm (Juxtaposition, Multiple Graph Diagramm nach Schutz 1961b).

Punkt B erlaubt mehrere Anordnungsvarianten. Zum Beispiel können die einzelnen Diagramme nebeneinander oder untereinander positioniert sein, was für manche Fragestellungen keineswegs gleichgültig ist. In den hier dargestellten Experimenten wurden nicht zuletzt aus pragmatischen Gründen der Darstellbarkeit folgende Anordnungsvarianten vorgenommen (siehe dazu auch Index "Versuchsplan: Beispielgraphen für alle experimentellen Bedingungen"):

Anzahl der Datenreihen	Anordnung der Einzeldiagramme
2	1 2
4	1 2 3 4
8	1 2 3 4 5 6 7 8

für genauere Angaben im Index anklicken:

Versuchsplan: Beispiele für alle experimentellen Bedingungen

Jedes einzelne Diagramm unter Juxtaposition war so gestaltet, daß es unabhängig von den anderen Diagrammen lesbar ist, d.h. jedes Einzeldiagramm verfügte über eine Überschrift sowie eine Ordinate und Abszisse mit Beschriftung. Es sind Fälle denkbar, wo man durch Weglassen einiger dieser Komponenten Übersichtlichkeit auf Kosten von Eindeutigkeit gewinnt.

4.2 Die Graphiktypen

Als geeignete Graphiktypen sollen Liniendiagramm und Säulendiagramm verwendet werden, die in der Untersuchung von Jacobs (1990) vergleichbar gute Trendeinschätzungen erlaubten.

Damit ein Verlauf deutlich erkannt werden kann, müssen die Datenelemente die gleiche Grundlinie aufweisen und als Position an einer gemeinsamen Skala im Sinne von Cleveland (1985, S.248) wahrgenommen werden können. Somit scheiden hier segmentierte Graphvarianten aus. Denn

z.B. das segmentierte Säulendiagramm, bei dem die Säulen mehrerer Datenreihen aufeinander stehen, erfordert die Einschätzung von Längen im Sinne von Cleveland (1985), und Längen in die Wahrnehmung von Verläufen umzuwandeln, ist äußerst schwierig.

Zum Erkennen eines Kurvenverlaufs würden in einem Liniendiagramm einfache Linien genügen. Als zusätzliche Bedingung wird hier jedoch verlangt, daß die Datenelemente einer Datenreihe identifizierbar sein müssen, weil für andere Fragestellungen die eindeutige Lokalisierbarkeit der Datenelemente notwendig ist und das begonnene Forschungsvorhaben langfristig viele unterschiedliche Fragestellungen im Auge hat. Als Identifikationssymbole werden ausschließlich kleine Kreise verwandt, so daß streng genommen ein Punkteliniendiagramm zugrunde liegt.

Um die Datenreihen in der Graphanordnung Superposition wahrzunehmen und voneinander abgrenzen zu können, sollte eine visuelle Variable mit bestmöglicher Selektivität verwendet werden. Bei Jacobs 1989 unterschieden sich die Datenelemente durch die Helligkeit. Hier wird die Farbe als Trennvariable gewählt. "Die Farbe ist eine besonders gute selektive Variable" (Bertin 1974, S.99). In der Untersuchung von Schutz 1961b erwies sie sich selbst gegenüber optimalisierter Schwarz-weiß-Codierung als überlegen und veranlaßte Schutz zu der Schlußfolgerung: "If cost or time to process visual materials are not important factors, color may be used for coding purposes to improve performance slightly" (S.119). Farbe erscheint hier zudem notwendig, weil kaum eine andere Variable 8 zuverlässig unterscheidbare Kategorien anbietet. Dafür müßte man dann noch die optimalen Farben aus der Menge der möglichen Farben verwenden. Dies ist aber nicht zuletzt auf Grund softwaretechnischer Probleme der freien Wahl beliebig vieler reiner Farben nicht geschehen. Die Farben der einzelnen Datenreihen waren stets wie folgt festgelegt:

Nummer der Datenreihe:	1	2	3	4	5	6	7	8
Farbe der Datenreihe:	blau	rot	grün	gelb	cyan	magenta	weiß	schwarz

4.3 Die Vergleichbarkeit der Graphikvarianten

Die unterschiedliche Anordnung der einzelnen Präsentationen führt zu mehrfachen Unterschieden, die über die Graphanordnung an sich hinausgehen. Z. B. müssen die Daten in der Graphanordnung Juxtaposition in der Regel in kleineren Diagrammen unterbracht werden als diejenigen in der Graphanordnung Superposition. Um einen halbwegs fairen Vergleich zwischen den graphischen Darstellungen zu gewährleisten, wurde das Ordinate-Abszissen-Achsenverhältnis aller Graphiken konstant gehalten. Ankerpunkt für dieses Achsenverhältnis war das Säulendiagramm mit 8 Datenreihen. Dieses mußte so gewählt werden, daß über die 10 Zeitpunkte hinweg die insgesamt 80 Datenelemente in der Farbe noch eindeutig identifiziert werden konnten. Die Abstände der Datenelemente im 8 Datenreihen umfassenden Säulendiagramm legten fest, daß auch die Abstände im entsprechenden Liniendiagramm vergleichbar sein mußten, damit die Steigungen der Verläufe auch vergleichbar sind. Diese Beschränkungen führen manchmal zu ästhetisch suboptimalen, möglicherweise aber auch wahrnehmungsmäßig nicht optimalen graphischen Präsentationen für bestimmte Varianten. Z.B. könnte ein Liniendiagramm mit 8 Datenreihen eine kürzere x-Achse durchaus vertragen, und dies wäre möglicherweise günstiger für das Liniendiagramm. Ebenso wäre es eventuell für die 8 Graphiken unter Juxtaposition (bei 8 Datenreihen) vorteilhafter, wenn man höhere Ordinaten verwenden würde.

4.4 Die Daten in den Graphiken

Der experimentelle Aufbau der einzelnen Graphiken ähnelt dem von Jacobs (1990). Mithilfe bestimmter Funktionen wurden für jede Datenreihe 12 bzw. 10 Datenwerte berechnet, die einem bestimmten Kurvenverlaufstyp entsprachen und von der Vorzeichenentwicklung des Gesamtverlaufs eindeutig ausfielen. In Erweiterung zu Jacobs 1989 wurde der tritone Kurvenverlauf

noch hinzu gekommen, im Gegensatz zu Jacobs 1989 wurden die monotonen Funktionstypen erweitert, dafür die komplexeren Funktionstypen auf die Sinusfunktion beschränkt.

Tabelle 1 zeigt eine Übersicht über die 8 möglichen Kurvenverläufe einer Datenreihe im Experiment:

Tabelle1: Verläufe, Vorzeichenentwicklung und zugrundeliegende Funktionen

Kurvenverlauf	Vorzeichenentwicklung		zugrundeliegende Funktionen, bzw. Abschnitte aus den Funktionen	
monoton	+	oder -	$y=ax+b; y=1/x; y=ax^2+b; y=\sin(ax)+b$	
biton	+ -	oder - +	$y=ax^2+b$	
triton	+ - +	oder + - +	$y=\sin(ax)+b$	
quadriton	+ - + -	oder - + - +	$y=\sin(ax)+b$	

Innerhalb einer Funktion wurden mehrere Zufallsprozesse eingebaut, die dafür sorgen sollten, daß hinreichende Variationen z.B. bzgl. Niveau und Steigung vorkommen können. So kann etwa die Sinusfunktion des quadritonen Kurvenlaufs mit hoher Amplitude die gesamte Graphik (ähnlich einem großen M) ausfüllen, aber auch eine kaum merkbare Wellenbewegung am oberen Rand einer Graphik hervorbringen.

dazu im Index anklicken:

Aufgabenkonstruktion:

(Säulendiagramm) Beispiele für mögliche Kurvenverläufe

(Liniendiagramm) Beispiele für mögliche Kurvenverläufe

Durch die Zufallsprozesse sollten möglichst viele unterschiedliche Datenkonstellationen entstehen, die eine solide Basis für die Generalisierung der Befunde erlauben und zudem störende Erinnerungseffekte weitgehend vermeiden sollten. Ein linearer Verlauf wird dann eben in vielen Varianten unterschiedlich steil und unterschiedlich positioniert auf der x-Achse erscheinen, und die Vp sieht nicht bei jeder experimentellen Variante die gleichen Daten. Das Vorgehen erzeugt aber sicher keine empirisch irgendwie repräsentativen Daten, sondern lediglich eine große Vielfalt von Daten. Dadurch werden möglicherweise Besonderheiten, wie sie nicht selten in der Empirie vorkommen (z.B. mehrere lediglich im Niveau verschiedene, ansonsten aber sehr ähnlich verlaufende Datenreihen), zu wenig berücksichtigt. Die Übersichtlichkeit (z.B. Anzahl der Überlappungen) von Datenreihen beeinflusst natürlich das Graphverstehen (Rink, Schutz 1961b). Eine übersichtliche Anordnung sollte auch, so die Empirie sie überhaupt hergibt, stets gefördert werden. Dies wird hier aber nicht gesondert thematisiert.

Beim superpositionierten Liniendiagramm können bestimmte Datenpunkte im Falle mehrfacher Datenreihen überlappen. Diese sind dann nicht mehr oder sehr schlecht sichtbar. Auf Möglichkeiten, überlappende Daten sichtbar zu machen (Cleveland 1985, Kap 3.49) wurde verzichtet.

4.5 Die unabhängigen Variablen

Als UV wurden variiert:

Faktoren	Stufen
A Anzahl der Datenreihen	1, 2, 4, 8- Datenreihen
B Graphanordnung	Superposition, Juxtaposition
C Graphtyp	Säulendiagramm, Liniendiagramm

Alle Faktoren sind Meßwiederholungsfaktoren. Wie die Untersuchung von Jacobs (1990) gezeigt hat, erhöht diese Art der Überprüfung (repeated

measurement) in nicht unbeträchtlichem Maß die Effizienz des Versuchsplans, da sehr große interindividuell stabile Unterschiede festgestellt werden konnten.

4.6.0 Die abhängigen Variablen

4.6.1 Die speziellen Fragestellungen dieser Untersuchung

Das Erkennen eines Trends wurde hier auf die Vorzeichenentwicklung des Kurvenverlaufs reduziert. Es sollte erkannt werden, welches Vorzeichen bzw. welche Vorzeichenentwicklung eine Datenreihe aufweist (genauer folgt später). Es wurden 2 verschiedene Aufgabenstellungen formuliert, die in unterschiedlicher Weise ein Erkennen von Verläufen erfassen sollten:

1. Erkenne Verlauf !:

Hier wurde eine bestimmte Datenreihe vorgegeben, und der Verlauf dieser Datenreihe sollte erkannt werden, also:

Welchen Verlauf hat eine bestimmte Datenreihe? Diejenige Datenreihe, deren Verlauf bestimmt werden sollte, wird im folgenden Zieldatenreihe genannt. Bei der Graphanordnung "Superposition" wurde die Zieldatenreihe durch die Farbe (z.B. Welchen Verlauf hat die rote Datenreihe?), bei der Graphanordnung "Juxtaposition" durch die Diagrammnummer (Welchen Verlauf hat die Datenreihe im Diagramm Nr. 2?) spezifiziert. Der Einfachheit halber kürzen wir die Aufgabenstellung ab in "Erkenne Verlauf!".

2. Finde Datenreihe !:

Hier wurde ein bestimmter Verlauf (= Zielverlauf) vorgegeben und diejenige Datenreihe, welche den Zielverlauf aufwies, sollte identifiziert werden, also z.B.: Welche Datenreihe zeigt den Verlauf "Anstieg Abfall"? Bei Superposition mußte die korrekte Farbe der Datenreihe, bei Juxtaposition die richtige Diagrammnummer identifiziert werden. Wir kürzen diese Fragestellung ab zu "Finde Datenreihe!".

Bei "Erkenne Verlauf" muß zunächst die Zieldatenreihe identifiziert werden und anschließend die Vorzeichenentwicklung dieser Datenreihe abgeschätzt werden. Die Beantwortung dieser Frage ist für fast alle Leser von Verlaufsdaten stets von praktischer Relevanz, da er wissen will, welchen Verlauf eine bestimmte Datenreihe aufweist. Bei "Finde Datenreihe" muß der Zielverlauf aus mehreren Datenreihen herausgefunden werden, was höchstwahrscheinlich schwieriger ist. Hier steht der Graphikleser vor der Aufgabe, z.B. die Datenreihe mit einem bestimmten Idealverlauf aus der Graphik zu isolieren.

4.6.2 Die Messung der abhängigen Variablen:

- a) Zeit bis zur Beantwortung der Frage (Zeit)
- b) Prozentsatz der richtigen Antworten (Genauigkeit)

Entscheidende abhängige Variable ist die Zeit von der Darbietung der Präsentation bis zur Entscheidung der Vp, die Frage als beantwortet zu betrachten. Die Vp sollte dabei so schnell wie möglich, aber dennoch genau, die Frage beantworten. Der gesamte Ablauf wird von der Vp selbst kontrolliert: Sie liest die spezielle Fragestellung durch, bestimmt durch Tastendruck den Beginn der Graphikpräsentation und beendet durch erneuten Tastendruck die Reizdarbietung. Anschließend gibt sie die Antwort ein. Dieses Vorgehen wird als praktisch bedeutsame, quasi ökologisch valide Zeitmessung angesehen. Darüber hinaus wird die Richtigkeit der Antwort überprüft.

Die Zeit wird in Millisekunden (msec) gemessen. Jedoch liegt mit Sicherheit keine Echtzeitmessung auf diesem Niveau vor. Software und Hardware bedingen eine nicht exakt angebbare Ungenauigkeit der Zeitmessung, die vielleicht 20 bis 100 msec Unsicherheit im Sinne einer Zeitverzögerung

beträgt. Mögliche Unterschiede auf diesem Unsicherheitsniveau sind für uns jedoch gänzlich uninteressant.

4.6.2.1 Beziehung zwischen Zeit und Genauigkeit

Zeit und Genauigkeit sollen Vergleichbares in dem Sinne messen, daß schwierige Aufgaben mehr Zeit erfordern und mehr Fehler provozieren. Es wird daher erwartet, daß im Mittel diejenigen Bedingungen, die viel Zeit beanspruchen, auch geringere Genauigkeiten nach sich ziehen, wobei die Zeit das sensiblere Maß darstellt. Man könnte annehmen, daß die Versuchsmethode einen sorgfältig langsamen und einen schludrig schnellen Vp-Typ produziert, so daß negative Korrelationen zwischen Zeit und Prozentsatz richtiger Lösungen zu erwarten sind. Jacobs (1989,1990) fand jedoch insignifikante Zusammenhänge zwischen Zeiten und Genauigkeiten bei gleichzeitig hohen Zuverlässigkeiten bzgl. der Zeiten. Es gibt Personen, die sich schnell und solche, die sich langsam entscheiden, was nichts über deren Genauigkeit aussagt.

4.7 Versuchspersonen und Versuchsdurchführung

An der Untersuchung nahmen 20 Vpn teil. 16 Vpn waren Student(inn)en der Erziehungswissenschaft, die im WS 1993/1994 das vom Verfasser geleitete Seminar "Einführung in die Versuchsplanung" belegten. Die restlichen 4 waren studentische Hilfskräfte und Mitarbeiter der Universität. Die studentischen Versuchspersonen absolvierten das Experiment im CIP-Raum der Philosophischen Fakultät in Gruppen von 3 bis 7, jeder für sich an einem eigenen Computer. Die übrigen Vpn führten das Experiment alleine meistens in ihrem Arbeitszimmer durch. Vor der eigentlichen Untersuchung hatten die Vpn ein kleines Informationsprogramm durchzuarbeiten. Dadurch sollte sichergestellt werden, daß die Vpn Säulen- und Liniendiagramme in Superposition und Juxtaposition verstehen und interpretieren sowie den Versuchsinstruktionen hinreichend folgen können.

4.8 Signifikanzniveau

Das Signifikanzniveau wird wie folgt festgelegt:

Alpha = .01 für parametrische Verfahren
 Alpha = .05 für nichtparametrischer Verfahren
 Alpha = .05 für multiple Mittelwertsvergleiche.

5. Hypothesen

5.1 Zeitpunkt der Hypothesenexplikation

Um mit gutem Beispiel voranzugehen und einmal ernst zu machen mit der Forderung "Erst die Hypothesen, dann die Daten!", händigte der Verfasser den Studenten des Seminars Versuchsplanung vor der Versuchsdurchführung (am 7. Dez. 1993) die Explikation der Hypothesen in einem verschlossenen Umschlag aus (siehe Anhang). Der Untersuchungszeitraum erstreckte sich vom 13. bis 20. Dez. 1993. Der Umschlag wurde in der Seminarsitzung am 21. 12. 1993 geöffnet. Die im Anhang explizierten Hypothesen beziehen sich direkt auf die Erwartung von Effekten in der VA, da die Studenten gerade das Thema mehrfaktorielle Versuchspläne durchzuarbeiten hatten und die Ergebnisse im Seminar besprochen werden sollten. In Abweichung davon werden nachfolgend die wichtigsten Hypothesen zum Teil auch inhaltlich begründet.

5.2 Die wichtigsten Hypothesen

1. Liniendiagramm und Säulendiagramm sind vergleichbar gut geeignet, Kurvenverläufe bei einer Datenreihe zu erkennen.

Diese Erwartung basiert zunächst einmal auf bereits früher gefundenen Ergebnissen Jacobs (1990) und ist insofern empirisch auch gut begründet, als

die Methode der von Jacobs 1990 entspricht und nicht der von Schutz 1961b, der eine leichte Überlegenheit des Liniendiagramm nachwies.

Entscheidend für die Identifikation des Kurvenverlaufs ist die rasche ungestörte Wahrnehmung der Abfolge der Datenelemente. Die Datenelemente müssen an einer gemeinsamen Position skaliert, als zusammengehörig, aufeinanderfolgend und durch nichts gestört oder getrennt aufgefaßt werden können. Diese Forderungen gelten bei einer Datenreihe für Liniendiagramm, Säulendiagramm und auch z.B. für das Flächendiagramm. Die Zusammengehörigkeit ist zwar beim Liniendiagramm explizit durch die Verbindungslinie gegeben, drängt sich beim Säulendiagramm aber quasi auf, sofern die Säulen nicht zu weit auseinander stehen. Schwierigkeiten für die Wahrnehmung der Zusammengehörigkeit ergäben sich z.B. bei einem reinen Punktediagramm (hier nur die Kreise ohne die Linien), weil dann der Abstand zwischen den Punkten zu groß erscheinen könnte und die Wahrnehmung einer direkten Aufeinanderfolge leidet.

Steigungsänderungen müssen als Veränderung aufeinanderfolgender Winkel der Datenelemente von ihren Vorläuferelementen erkannt werden. Dafür relevant sind lediglich die Positionen auf der y-Achse. Beim Liniendiagramm sind diese durch die Punkte, beim Säulendiagramm durch die Höhe der Säule festgelegt. Demnach könnte möglicherweise eine graphische Darstellung, die lediglich die Höhen als klar wahrnehmbare Einheiten (z.B. kleine breite Rechtecke) wiedergibt, ebenfalls gut geeignet sein, Kurvenverläufe zu erkennen. Vielleicht aber hat die Säule von der Grundlinie (übliches Säulendiagramm) einen zusätzlichen Vorteil durch weitere Orientierungen. Die hier vorgebrachten Annahmen für eine verbesserte Wahrnehmung müßten in anderen Experimenten mit mehr theoretischem Interesse überprüft werden, z.B.: Je weiter die Säulen auseinander stehen, desto schlechter die Wahrnehmung eines Kurvenverlaufs.

2. Die Graphiktypen unter der Bedingung Juxtaposition sind vergleichbar gut geeignet, Kurvenverläufe zu identifizieren.

Aus Hypothese 1 geht hervor, daß beide Graphiktypen bei einer Datenreihe vergleichbare Ergebnisse vermuten lassen. Die Graphanordnung Juxtaposition besteht nun aus mehreren Einzeldiagrammen. Unter der Annahme, alle Einzeldiagramme würden in Folge einzeln jeweils auf den speziellen Verlauf hin überprüft werden, so ist für beide Graphiktypen die gleiche Zeit zu erwarten, unabhängig davon, wie viele Datenreihen analysiert werden müssen.

3. Unter der Graphanordnung Superposition ist das Liniendiagramm dem Säulendiagramm überlegen (d.h. es beansprucht weniger Zeit). Dies gilt bereits für 2 Datenreihen. Der Unterschied zwischen Liniendiagramm und Säulendiagramm wächst zudem mit steigender Datenreihenanzahl.

Zum Teil gibt es für diese Hypothese bereits empirische Evidenz. Jacobs (1990) fand heraus, daß das Liniendiagramm besser als das Säulendiagramm geeignet war, 2 Kurvenverläufe in einem Diagramm auf Trendäquivalenz einzuschätzen. Daraus läßt sich ableiten, daß die Identifikation eines Kurvenverlaufs bei 2 Datenreihen unter Superposition beim Liniendiagramm schneller vollzogen werden muß als beim Säulendiagramm.

Die 2. Datenreihe erschwert beim Säulendiagramm die Wahrnehmung der Zusammengehörigkeit zu einer bestimmten Datenreihe, da die Elemente beider Datenreihen stets hintereinander stehen und so quasi die ungestörte Abfolge jeweils unterbrochen wird. Man muß bei der Konzentration auf die eine Säulenreihe über die Elemente der anderen Säulenreihe hinwegsehen. Außerdem nimmt zwingenderweise der Säulenabstand (bzw. genauer: das Verhältnis Säulenabstand zu Säulenbreite) bei jeder weiteren Datenreihe zu, wodurch die Identifikation einer Zusammengehörigkeit erschwert und ein Kurvenverlauf schlechter wahrnehmbar ist. Mit jeder zusätzlichen Datenreihe verschärfen sich die ungünstigen Bedingungen beim Säulendiagramm. Bei mehreren Linien bleibt die Zusammengehörigkeit zu der jeweiligen Datenreihe erhalten, obgleich Überkreuzungen Störungen bewirken können. Jedoch sind die Störungen mengenmäßig geringer als beim

Säulendiagramm (dort wird jedes Datenelement gestört), und außerdem bleibt der Abstand der Datenelemente einer Datenreihe immer gleich.

4. Hinsichtlich der beiden Graphikvarianten unter Juxtaposition und Superlinie kann keine klare Erwartung ausgesprochen werden.

Insbesondere bleibt völlig unklar, ob und wie sich die Graphikvarianten bei noch relativ wenigen Datenreihen unterscheiden. Ist es einfacher, die Farbe des geforderten Verlaufs aus 4 farbigen Verläufen in einem Diagramm zu isolieren oder dasjenige Diagramm mit dem geforderten Verlauf aus 4 Diagrammen zu identifizieren? Da uns keine vernünftige Argumentation für oder gegen eine der Varianten einfällt, gehen wir von vergleichbar guten Ergebnissen aus und können keine gerichtete Hypothese wagen.

Allerdings ist anzunehmen, daß irgendwo ein Punkt erreicht ist, bei dem das Liniendiagramm überfordert, Juxtaposition jedoch noch funktioniert. Stellt man sich das Extrembeispiel von 100 Datenreihen vor, dann sind z.B. die meisten Verläufe in einem Diagramm nicht mehr hinreichend sichtbar, geschweige den voneinander selektierbar. Unter Juxtaposition sind die Aufgaben dann zwar langwierig, aber noch eindeutig lösbar. Es kann daher vermutet werden, daß Juxtaposition bei 8 Datenreihen möglicherweise günstigere Ergebnisse als das Liniendiagramm erbringt. Zwingend kann dies aber nicht begründet werden, weil ungeklärt ist, ab wieviel Datenreihen die Grenze der Wahrnehmung bei Superlinie erreicht wird bzw. eine nicht mehr tolerierbare Fehleranfälligkeit zu erwarten ist. Man kann vielleicht argumentieren: Wenn überhaupt Unterschiede auftreten, dann am ehesten bei 8 Datenreihen.

5. Insgesamt werden für die Fragestellung "Finde Datenreihe" deutlichere Ergebnisse als für die Fragestellung "Erkenne Verlauf" erwartet.

Dies, weil diese Aufgabe schwieriger erscheint, da hier mehrere Datenreihen auf Übereinstimmung mit dem geforderten Verlauf geprüft werden müssen. Grundsätzlich wird angenommen, daß tatsächlich erwartete Unterschiede zwischen den Graphiktypen mit zunehmender Schwierigkeit klarer hervortreten (ordinale Interaktion zwischen Graphvarianten und Anzahl der Datenreihen). Diese oben schon zum Teil explizierte Annahme begründet quasi die Aufnahme des Faktors "Anzahl der Datenreihen" in den Versuchsplan. Wenn man nur an Graphypunterschieden interessiert wäre, dann sollte man als ökonomische Methode solche Aufgaben wählen, die mit Graphyp A gerade noch, mit Graphyp B aber nicht mehr gelöst werden könnten. So hätte man einen klaren Befund, welcher Graphyp bessere Wahrnehmung für die geprüfte Fragestellung erlaubt. Für den Praktiker ist dieses Vorgehen aber nicht ratsam, denn der will natürlich wissen, wie die Unterschiede in häufig erstellten Graphiken, nicht in extremen Graphiken, aussehen.

6.0 Versuchsbeschreibung und Ergebnisse

6.1.0 Erkenne Verlauf bei einer Datenreihe

6.1.1 Versuchsbeschreibung

Die Graphanordnung Juxtaposition setzt mindestens 2 Datenreihen voraus. Ist nur eine Datenreihe vorhanden, dann können nur die Graphiktypen Säulendiagramm und Liniendiagramm miteinander verglichen werden. Das Reizmaterial umfaßte für beide Graphiktypen jeweils alle möglichen 8 Vorzeichenentwicklungen. Die insgesamt 16 Graphiken wurden für jede Person in zufälliger Reihenfolge präsentiert. Aufgabe der Vp war es, unmittelbar nach Darbietung der Graphik die korrekte Vorzeichenentwicklung möglichst schnell zu identifizieren und anschließend den zutreffenden Verlauf aus den 8 möglichen Verläufen anzuklicken.

 Sie können diesen experimentellen Teil selbst durchführen wenn Sie
 im Index anklicken:

Experimente:

Erkenne den Verlauf bei einer Datenreihe !

6.1.2 Ergebnisse

Für jeden Graphtyp wurden die Genauigkeiten und Zeiten aller 8 Aufgaben
 zugesammengefaßt und als AV Personenmittelwerte (Testwerte) verwendet. Ei-
 ne graphische Inspektion der Testwerte ließ keine extremen Outliner erken-
 nen.

Genauigkeit

Die Aufgaben sind zu einem sehr hohen Prozentsatz richtig gelöst worden.
 Die Unterschiede zwischen Liniendiagramm (98%) und Säulendiagramm (97%)
 sind augenscheinlich ohne jede Bedeutung. Der insignifikante z-Wert nach
 Wilcoxon ($z = -.9129$, 2-Tailed, $p = .36$, $p > .05$, Hypothese bestätigt) wird
 hier nur der Form halber mitgeteilt.

Zeit

Die Verteilungen der Zeitdaten beider Graphiktypen sind sehr hoch ver-
 gleichbar, weichen jeweils signifikant von der Normalverteilung ab und
 zeigen erwartungsgemäß einen linksgipfligen Verlauf.

Die Zeiten beider Graphiktypen wurden mittels t-Test für abhängige Stich-
 proben auf Signifikanz überprüft. Die wichtigsten Anwendungsvoraussetzun-
 gen für korrekte Entscheidungen beim t-Test (Varianzhomogenität, gleiche
 Verteilungsform, gleicher Umfang (nach Borz (Seite 166)) waren dabei nach-
 weislich erfüllt. Wie aus der Tabelle 2 hervorgeht, sind entsprechend der
 Hypothese keinerlei Unterschiede zwischen den Graphiktypen nachzuweisen.

Tabelle 2: Zeit (Arithmetischer Mittelwert in msec) zum Erkennen der
 Vorzeichenentwicklung eines Kurvenverlaufs

Variable	Corr	Mean	SD	t	df	Sign(2)	Entscheidung
Säulendiagramm		3628	2059				
Liniendiagramm	.92	3470	2160	.81	19	.428	$p > .01$ (B)

Da eine Anwendungsvoraussetzung des t-Tests (Normalverteilung der
 Differenzen) nachweislich nicht erfüllt war ($p < .05$), wurden die Daten
 zusätzlich logarithmiert (neuer Testwert = LN (alter Testwert)) und durch
 diese Prozedur alle Voraussetzungen der Anwendung des t-Tests in sehr
 befriedigender Weise erfüllt. Ein entsprechender t-Test mit den
 transformierten Daten ergab ebenfalls keine signifikanten Unterschiede
 zwischen den Graphiktypen.

Bedenkt man, daß die Präzision des Versuchs trotz der geringen Vp-anzahl
 infolge der sehr hohen Korrelation zwischen beiden Graphiktypen außeror-
 dentlich effizient einzustufen ist, so ist hier eine empirisch sehr fun-
 dierte Stützung der Hypothese gelungen. Die Ergebnisse von Jacobs (1990)
 sind somit eindrucksvoll repliziert worden. Diese solide empirische Basis
 bestärkt somit auch die Erwartung unwesentlicher Unterschiede zwischen Ju-
 xtasäule und Juxtalinie unabhängig von der Anzahl der Datenreihen.

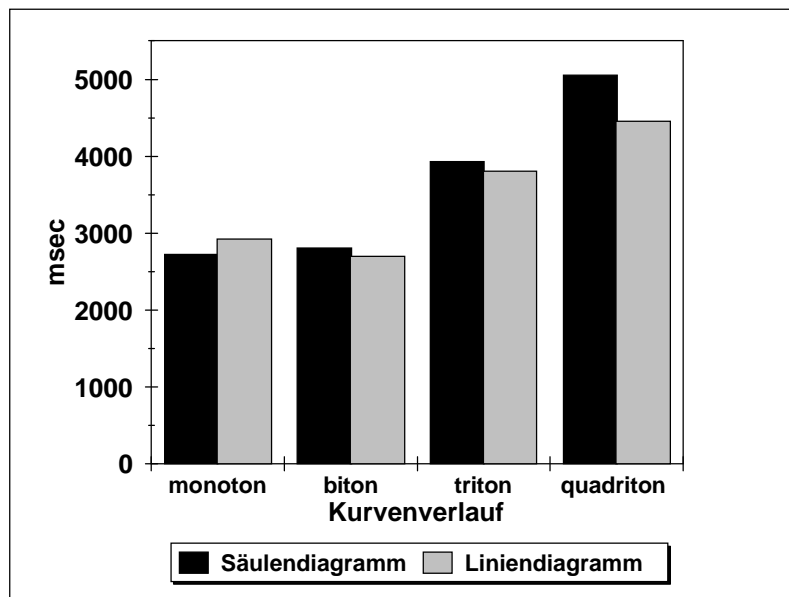
6.1.3 Zeitunterschiede zwischen den Verlaufsformen bei einer Datenreihe

Hierzu im Index anklicken :

Ergebnisse

"Erkenne Verlauf bei einer Datenreihe (Zeiten)"

Abbildung 1: Zeit zum Erkennen der Vorzeichenentwicklung eines Kurvenverlaufs für 2 Präsentationsformen und 4 Verlaufsarten



Die Abbildung 1 zeigt die benötigte Zeit für beide Graphiktypen, geordnet nach der Anzahl der Steigungsänderungen im Kurvenverlauf. Man sieht, daß die Zeiten bis zum bitonen Kurvenverlauf gleichbleiben und dann zunehmend anwachsen. Der sichtbare Effekt des Kurvenverlaufs ist varianzanalytisch (4 Kurvenverläufe x 2 Graphiktypen : 4x2 VA repeated Measurement Design) eindeutig bestätigt ($F(57,3) = 12.28$; $p = 0.00$; $p < .01$; $H=B$) und die anschaulichen ähnlichen Verlaufsentwicklungen der Graphiktypen durch die nachgewiesene insignifikante Wechselwirkung zwischen Kurvenverlauf und Graphiktypen $F(57,3) = 1.01$; $p = .394$, $p > .01$; $H=B$) ebenfalls statistisch erhärtet.

Man hätte erwarten können, daß der bitone Kurvenverlauf wie bei Jacobs (1990), S.45 mehr Identifikationszeit erfordert als der monotone, was durch die Daten klar widerlegt wird. Eine mögliche Erklärung dafür ist darin zu vermuten, daß der für den bitonen Kurvenverlauf gewählte Funktionstyp ein sehr prägnantes Erscheinungsbild aufweist und der monotone Verlauf mehrere ganz unterschiedliche Funktionstypen (negativ und positiv beschleunigt usw.) beinhaltet. Bei Jacobs 1990, der lediglich lineare Funktionen als monotonen Kurvenverlauf prüfte, ergab sich auch eine ca. 1 sec. schnellere Identifikation für den monotonen Kurvenverlauf als hier, während die Zeiten für den bitonen Kurvenverlauf bei beiden Untersuchungen annähernd vergleichbar sind.

6.2 Das Erkennen von Verläufen bei mehreren Datenreihen und Graphanordnungen

6.2.1 Versuchsablauf

Erst ab 2 Datenreihen in einer Präsentation läßt sich die Graphanordnung Superposition gegen die von Juxtaposition abgrenzen.

Zuerst wurde die Fragestellung "Erkenne Verlauf", danach die Fragestellung "Finde Datenreihe" bearbeitet. Für jede Stufe der Datenreihenanzahl waren für jede Graphikvariante 4 Graphikpräsentationen (Aufgaben) vorgesehen. Zunächst waren die 16 Aufgaben mit 2 Datenreihen, dann die 16 Aufgaben mit 4 Datenreihen und zuletzt die 16 Aufgaben mit 8 Datenreihen zu bearbeiten, so daß insgesamt die Reihenfolge bzgl. der Fragestellung und der Datenreihenanzahl fixiert und damit für alle Vpn gleich war.

Hierzu im Index anklicken:

Versuchsplan

Versuchsablauf

Varianzanalytisches Design

Dieses Vorgehen schließt recht wahrscheinliche Trainingseffekte nicht aus. Schutz (1961a und b) konnte in seinen beiden Experimenten klare signifikante Replikationseffekte nachweisen, und auch unsere Daten weisen in die Richtung, daß Übungseffekte vorliegen. Die Bedingungen waren innerhalb einer Fragestellung jedoch nach steigender Aufgabenschwierigkeit geordnet. Der Effekt der Datenreihenanzahl wird somit möglicherweise unterschätzt, aber dieser Effekt ist hier auch nur von untergeordneter Bedeutung.

Für jede Stufe der Datenreihenanzahl wurde vor dem eigentlichen Experiment das Vorgehen verbal und graphisch erklärt und die Durchführung von 3 Aufgabenbeispielen verbindlich gemacht.

Sie können eine experimentelle Einheit hier selbst durchführen, wenn

Sie im Index anklicken:

Experimente:

Finde Datenreihe mit vorgegebenem Verlauf bei 4 Datenreihen

6.2.1.1 Experimenteller Aufbau innerhalb jeder Datenreihenanzahlstufe

Zunächst wurde für jede Vp eine Zufallsstichprobe von 4 Funktionen aus den 8 möglichen Vorzeichenentwicklungen ohne Zurücklegen gezogen. Diese 4 Vorzeichenentwicklungen eines Kurvenverlaufs wollen wir Zielfunktionen nennen, weil der Verlauf der Datenreihe mit dieser Funktion erkannt werden sollte. Dann wurde zu jeder der 4 Zielfunktionen eine Zufallsstichprobe von weiteren Funktionen gezogen, welche die Vorzeichenentwicklung der sonstigen Datenreihen in der Präsentation festlegte. Die Verläufe der Datenreihen, die nicht erkannt werden sollten, wollen wir Distraktorfunktionen nennen. Für die Fragestellung "Finde Datenreihe" mußten die Distraktorfunktionen z.B. zusätzlich die Eigenschaft aufweisen, eine von der Zielfunktion verschiedene Vorzeichenentwicklung zu haben.

Bis jetzt haben wir also für jede Vp 4 Aufgabenschablonen konstruiert, die aus 4 verschiedenen Zielverläufen und je nach Anzahl der Datenreihen aus 1, 3 oder 7 Distraktorfunktionen bestehen. Auf der Grundlage dieser Aufgabenschablonen wurden für jede der 4 Graphikvarianten 4 konkrete Aufgaben erstellt. Die Aufgaben der 4 Graphikvarianten sind demnach hinsichtlich Zielfunktion und Distraktorfunktionen vergleichbar. Dennoch sind die den konkreten Aufgaben zugrunde liegenden Daten der einzelnen Aufgaben (z.B. Aufgabe 1) nicht für alle Graphikvarianten identisch. Denn die einzelnen Funktionen unterliegen den oben bereits beschriebenen Zufallsprozessen und zusätzlich wurde, um jegliche triviale Wiedererkennung zu zerstören, die

Farbe bzw. die Diagrammnummer der Zielfunktion auch für die parallelen Aufgaben nach Zufall mit Zurücklegen festgelegt.

 Hierzu im Index anklicken:

Aufgabenkonstruktion:

Konstruktion der experimentellen Bedingungen (Beispiel für 4 Datenreihen)

6.2.1.1.1 Sinn des experimentellen Vorgehens

Aus allem folgt, daß die Aufgaben für jede Graphikvariante von den Vorzeichenentwicklungen (den Funktionstypen) aller Datenreihen vergleichbar sind, sich jedoch in der konkreten Ausgestaltung der Entwicklungen und in der Spezifikation (bzgl. Farbe, Nummer) der Zielfunktion unterscheiden können. Um Carry-over Effekte zu verhindern, wurde die Reihenfolge, in der die 16 Aufgaben für jede Stufe der Datenreihenanzahl vorgegeben wurden, für jede Vp nach Zufall bestimmt.

Das gesamte Vorgehen kann als Versuch gewertet werden, interne und externe Validität gleichermaßen ernst zu nehmen. Um möglichst viele graphische Präsentationen zu testen (= Erhöhung der Situationsrepräsentativität der UV) erhielt jede Vp andere Verlaufskonstellationen. Um die Vergleichbarkeit der Bedingungen zu garantieren (= möglichst hohe interne Validität), mußten die Reize unter den verschiedenen experimentellen Bedingungen nach bestimmten Kriterien vergleichbar, durften aber wegen zu erwartender Übungseffekte nicht identisch sein. Wenn man so will, kann man den Versuchsaufbau als 20 Einzelfallexperimente oder 20 konzeptuelle Replikationsexperimente auf Einzelfallniveau deuten, die hier lediglich im Mittel ausgewertet werden.

6.2.2 Auswertung der Daten

Um die Zuverlässigkeit der experimentellen Bedingungen zu erhöhen, wurden die 4 Aufgaben (Items) zu individuellen Mittelwerten (VP-Testwerte) zusammengefaßt und bilden hier jeweils die relevante AV .

6.2.2.1 Zum Problem von Ausreißern

Eine Überprüfung der Verteilung auf Testniveau ergab, daß für die einzelnen Bedingungen Ausreißer festzustellen waren. Diese Ausreißerwerte betrafen meistens dieselben Vpn. Man hätte diese Vpn der Einfachheit halber aus der Analyse eliminieren können, hätte dabei jedoch die externe Validität im Sinne der Versuchspersonenrepräsentativität verletzt. Deshalb wurde folgendes Vorgehen gewählt:

Mittels Boxplot von Tukey wurden graphisch Extremwerte (extremer als Outliner) auf Itemniveau identifiziert. Dann wurde überprüft, ob diese Extremwerte als außergewöhnliche Extremwerte betrachtet werden müssen. Dies ist dann der Fall, wenn der Wert die übrigen Items der gleichen Bedingung bei dergleichen Person augenscheinlich klar übersteigt. Im Falle der eindeutigen Abweichung wurde der Wert aus dem Test der Bedingung entfernt.

Beispiel: Vp 14 zeigt im Tukey-Boxplot bei Item 2 der Bedingung A einen klaren Extremwert. Da Vp 14 jedoch auch bei Item 2 der Bedingung B und C einen vergleichbaren hohen Wert aufweist und die übrigen Items ebenfalls recht hoch sind, wird dieser Wert nicht elimiert, sondern als plausibler Wert von VP 14 akzeptiert. Vp 14 läßt sich aufgabenübergreifend mehr Zeit.

Vp 17 zeigt bei Item 1 im Tukey-Boxplot einen Extremwert, der ca. 4 mal so hoch ist wie vergleichbare Werte bei Item 1 für alle übrigen Bedingungen. Deshalb wird dieser Wert entfernt.

6.2.2.2 Datenverrechnung

Auf Itemniveau wurden für beide Fragestellungen jeweils ca. 2 Prozent der Daten als eindeutige Extremwerte eliminiert.

Dennoch verblieben auf Testniveau einige klar identifizierbare Outliner (nun keine Extremwerte mehr), die jedoch nach einer Inspektion der Gesamtdatenlage der entsprechenden Vpn als plausible extreme Abweichler interpretiert werden mußten. Wegen der Linksgipfligkeit der Verteilung wurden alle Skalenwerte logarithmiert (neuer Skalenwert = $\ln(\text{alter Skalenwert})$), wodurch sich die Anwendungsvoraussetzungen für die VA verbesserten und für die Fragestellung "Erkenne Verlauf" auf Testniveau alle Outliner verschwanden.

Mit den logarithmierten Testwerten wurde eine 3x2x2 faktorielle Varianzanalyse mit Meßwiederholung auf allen Faktoren durchgeführt.

A= Anzahl der Datenreihen (2,4,8)

B= Graphanordnung (Superposition, Juxtaposition)

C= Graphtyp (Säulendiagramm, Liniendiagramm)

6.2.3 Ergebnisse

6.2.3.1 Zeiten

6.2.3.1.1 Aufgabentyp: Welchen Verlauf hat die Datenreihe x ?

Tabelle 3: Ergebnisse der VA zur Fragestellung "Erkenne den Verlauf einer vorgegebenen Datenreihe": (logarithmierte Zeiten):

	df	F	p	Entscheidung()	
A (Datenreihen)	2,38	10,29	.000	p<.01	(B)
B (Graphanordnung)	1,19	76,55	.000	p<.01	(B)
C (Graphtyp)	1,19	45,93	.000	p<.01	(B)
A x B (Datenreihe x Anordn.)	2,38	16,90	.000	p<.01	(B)
A x C (Datenreihe x Typ)	2,38	2,50	.096	p>.01	(NB)
B x C (Anordnung x Typ)	1,19	22,55	.000	p<.01	(B)
A x B x C	2,38	1,17	.320	p>.01	(NB)

Tabelle 4: Arithmetische Zeitmittelwerte (nicht logarithmiert) für alle experimentellen Bedingungen in Msec:

Anzahl der Datenreihen	Juxtaposition		Superposition		
	Linie	Säule	Linie	Säule	
2	<u>2423</u>	<u>2784</u>	<u>2608</u>	3404	*
4	<u>2422</u>	<u>2463</u>	<u>2680</u>	3545	
8	<u>2420</u>	<u>2891</u>	3490	4777	

Anmerkung: Die nicht unterstrichenen Mittelwerte in einer Zeile unterscheiden sich signifikant auf dem 5 Prozentniveau (nach t-Test mit Alphaadjustierung hier relevantes p muß kleiner .0028 sein). Es wurden nur die Mittelwerte in den jeweiligen Reihen getestet, * Bei Datenreihenanzahl 2 unterscheiden sich die beiden Säulendiagramme nicht signifikant voneinander)

 Hier im Index anklicken :

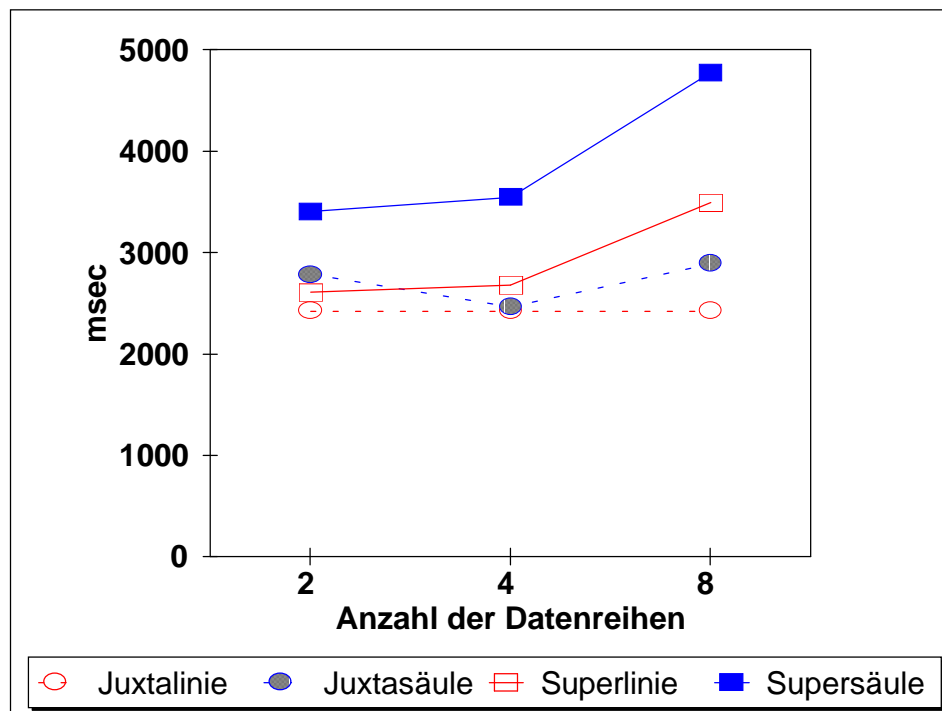
Ergebnisse:

Erkenne Verlauf bei mehreren Datenreihen (Zeiten)

Wie die Ergebnisse der Varianzanalyse und die graphischen Abbildungen aufzeigen, konnten fast alle Hypothesen deutlich bestätigt werden, nicht jedoch die klar erwartete Wechselwirkung 2. Ordnung deutlich bestätigt werden:

Die Zeiten wachsen mit der Anzahl der Datenreihen an (Trivialeffekt), die Graphanordnung "Juxtaposition" schneidet insgesamt günstiger ab als Superposition, und das Liniendiagramm insgesamt besser als das Säulendiagramm. Zugleich sieht man, daß die Haupteffekte allein keine vernünftige Erklärung liefern und eindeutige Wechselwirkungen aussagekräftiger erscheinen. So zeigt sich etwa bei Juxtaline ganz offensichtlich überhaupt kein Zeitanstieg mit wachsender Datenreihenanzahl. Dies liegt offenbar daran, daß unter Juxtaposition die klar antizipierbare Platzierung des geforderten Diagramms eine direkte Lokalisierung des Diagramms bei seinem Erscheinen ermöglicht.

Abbildung 2 : Zeit für "Erkenne Verlauf bei mehreren Datenreihen"



Reduziert man die experimentelle Anordnung auf ein 2 faktorielles Design mit den Faktoren "Anzahl der Datenreihen (3)" und "Graphikvarianten (4)", dann sieht man als entscheidende Effekte den Haupteffekt "Graphikvarianten" und die Interaktion zwischen den Graphikvarianten und der Datenreihenanzahl.

6.2.3.1.2 Aufgabentyp: Finde die Datenreihe mit Verlauf x ?

Tabelle 5: Ergebnisse der Va für Aufgabenstellung: "Finde die Datenreihe mit vorgegebenem Verlauf": (logarithmierte Zeiten)

	df	F	p	Entscheidung()	
A (Datenreihen)	2,38	124,16	.000	p<.01	(B)
B (Graphanordnung)	1,19	160,91	.000	p<.01	(B)
C (Graphtyp)	1,19	143,92	.000	p<.01	(B)
A x B (Datenreihe x Anordn.)	2,38	17,10	.000	p<.01	(B)
A x C (Datenreihe x Typ)	2,38	21,99	.000	p<.01	(B)
B x C (Anordnung x Typ)	1,19	58,48	.000	p<.01	(B)
A x B x C	2,38	21,43	.000	p<.01	(B)

Tabelle 6: Arithmetische Zeitmittelwerte (nicht logarithmiert) für alle experimentellen Bedingungen in Msec:

Anzahl der Datenreihen	Juxtaposition		Superposition	
	Linie	Säule	Linie	Säule
2	<u>1750</u>	<u>1961</u>	<u>1977</u>	2385
4	<u>2832</u>	<u>2992</u>	<u>3336</u>	4684
8	<u>3735</u>	<u>4192</u>	<u>4480</u>	11130

Anmerkung: Die nicht unterstrichenen Mittelwerte unterscheiden sich signifikant auf dem 5 Prozentniveau (nach t-Test mit Alphaadjustierung ($p < .0028$))

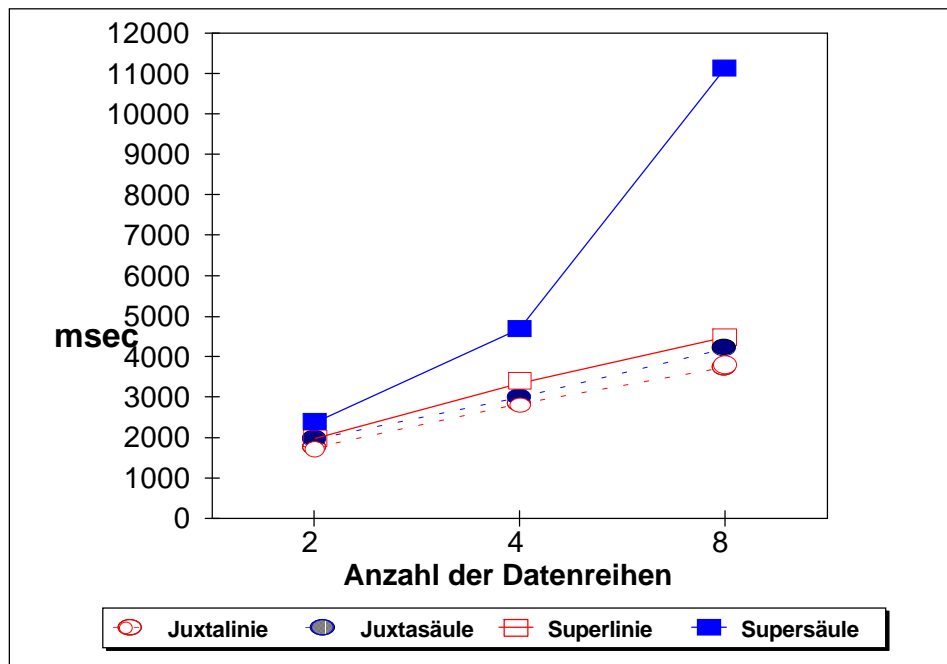
Hier im Index anklicken :

Ergebnisse:

Finde Datenreihe bei mehreren Datenreihen (Zeiten)

Alle varianzanalytischen Ergebnisse zur Fragestellung "Finde Verlauf" entsprechen überzeugend den zuvor explizierten Hypothesen, und hier sind auch die erwarteten Wechselwirkungen deutlich feststellbar. Die Unterschiede zwischen den Graphtypen und die Unterschiede zwischen den Graphanordnungen wachsen mit steigender Datenreihenanzahl, und die Wechselwirkung zwischen Graphtyp und Graphanordnung zeigt klar in die Richtung, daß die Unterschiede zwischen den Graphtypen hauptsächlich in der Graphanordnung Superposition hervortreten. Die Wechselwirkung zwischen allen Faktoren entspricht den Erwartungen, denn der Unterschied zwischen den Graphanordnungen ändert sich für die Graphtypen mit wachsender Datenreihenanzahl nicht gleichmäßig. Der Zeitunterschied zwischen den Graphiktypen nimmt bei Superposition mit wachsender Datenreihenanzahl deutlich zugunsten des Liniendiagramms zu, während dieser Graphtypunterschied unter Juxtaposition überhaupt nicht in Erscheinung tritt.

Abbildung 3 : Zeit für "Finde Datenreihe" bei mehreren Datenreihen



Wenn man aus Vereinfachungsgründen das Design wie oben bereits vorgeschlagen als zweifaktoriellen Versuchsplan mit den Faktoren Datenreihenanzahl und Graphvarianten deutet, so sieht man aus der Abbildung 3 im wesentlichen neben dem Haupteffekt Anzahl der Datenreihen die Wechselwirkung zwischen Datenreihenanzahl und den 4 Graphvarianten. Bis auf Supersäule wächst die Zeit mit der Datenreihenanzahl (dem Exponenten zur Basis 2) annähernd linear an. Bei Supersäule ist ein deutlich zunehmender, positiv beschleunigter Zeitbedarf zu erkennen.

6.2.3.1.3 Ergebnisse für 8 Datenreihen für beide Fragestellungen

Die Untersuchung sollte die Frage klären, ob für die extreme Bedingung von 8 Datenreihen das Liniendiagramm (Superposition) mehr Zeit beansprucht als die Graphikvarianten mit Graphanordnung Juxtaposition. Unter strengen statistischen Kriterien geben die obigen Tabellen darüber bereits hinreichende Auskunft. Allerdings ist die Chance, mögliche wahre Effekte zu finden oben aber auch sehr gering (hoher Betafehler).

Ein strenger Methodiker möge den nächsten Absatz übergehen:
Zusätzlich zur oben bereits durchgeführten statistischen Prüfung wurde eine einfaktorielle VA mit den 3 Graphikvarianten (also ohne Supersäule) als Stufen des Faktors "Graphikvarianten" berechnet. Für die Fragestellung "Erkenne Verlauf" läßt die Abbildung einen klaren signifikanten Haupteffekt erkennen, der mit $F(38,2) = 14,81$ $p = ,000$, $p < .01$ bestätigt wird. T-Tests zwischen allen 3 Graphikvarianten ergaben, daß Juxtalinie signifikant weniger Zeit beanspruchte als Superlinie und signifikant weniger Zeit als Justasäule (p jeweils $< .01$), die beiden letztgenannten Graphikvarianten sich hingegen nicht sign. unterschieden. Der Unterschied zwischen Juxtalinie und Superline beträgt ca. .72 Standardabweichungen, der Unterschied Juxtalinie versus Justasäule .42 Standardabweichungen.

Anders sieht das Bild bei der Fragestellung "Finde Datenreihe" aus:
Der insignifikante F-Wert von $F(38,2) = 2,65$ $p = ,084$, $p > .01$ besagt, daß bei 8 Datenreihen keine Zeitunterschiede zwischen Superlinie, Juxtalinie und Justasäule statistisch nachzuweisen sind.

6.2.3.2 Ergebnisse zur Genauigkeit für beide Fragestellungen

Bis zur Datenreihenanzahl von 4 sind über alle experimentellen Bedingungen hinweg mindestens 97,5% aller Aufgaben korrekt gelöst worden. Erst bei 8 Datenreihen zeigt sich ein differenzierteres Bild (siehe Tabelle 7).

Tabelle 7: Prozentsatz der richtigen Lösungen für 8 Datenreihen (N=20):

Fragestellung	Superposition		Juxtaposition	
	Säulengraph	Liniengraph	Säulengraph	Liniengraph
Erkenne Verlauf	91	85	99	100
Finde Datenreihe	78	86	96	100

Sowohl für 'Erkenne Verlauf' ($p=0.021$) wie für 'Finde Datenreihe' ($p=0.002$) erbringt die nichtparametrische Friedman-Varianzanalyse signifikante Unterschiede zwischen den 4 Graphikvarianten (p jeweils $<.05$). Den Daten zufolge liefert Juxtaposition offensichtlich eine höhere Genauigkeit als Superposition. Das Liniendiagramm unter Juxtaposition erzielt für beide Fragestellungen stets signifikant höhere Genauigkeiten ($p=.003$ bzw. $p=.004$, p jeweils $<.05$) als das Liniendiagramm unter Superposition, und das Säulendiagramm unter Juxtaposition erzielt bei 'Finde Datenreihe' eine höhere Genauigkeit als das Säulendiagramm unter Superposition ($p=0.004$, $p<.05$), nicht jedoch bei "Erkenne Verlauf" ($p=0.058$, $p>.05$).

Die Korrelationen zwischen den Zeiten und den Genauigkeiten für beide Graphiktypen unter Superposition für die Datenreihenanzahl von 8 waren alle kleiner als .20 und alle insignifikant. Die Entscheidungszeit ist demnach unabhängig von der Genauigkeit.

2.3 Gesamtbewertung der Ergebnisse

 Hier im Index anklicken :
 Ergebnisse:
 Gesamtüberblick für mehrere Fragestellungen (Zeiten und Genauigkeiten)

Die Ergebnisse zur Genauigkeit relativieren die Hypothesen, da auf der Ebene der Versuchspersonenmittelwerte grundsätzlich eine Konkordanz zwischen Genauigkeit und Zeit angenommen wurde. Eigentlich sollten nach dieser Annahme diejenigen Varianten mehr Zeit beanspruchen, die auch mehr Ungenauigkeit aufweisen, da Ungenauigkeit und hohe Zeitwerte beide Indikatoren für hohe Schwierigkeit der Aufgabe sind. Zum Teil trifft diese Annahme zu, aber nicht durchgängig.

Insbesondere die postulierte Wechselwirkung zwischen Anzahl der Datenreihen, Graphyp und Graphanordnung ist für die Genauigkeit eindeutig widerlegt worden. Bzgl. der Genauigkeit zeigt sich augenscheinlich lediglich eine Interaktion zwischen Graphanordnung und Datenreihenanzahl, die hier wegen der schwierigen Datenlage (Bedingungskonstellationen mit Varianz von 0, Deckeneffekt usw.) jedoch nicht getestet werden konnte. Die günstigen Zeitwerte für Superlinie bei der Datenreihenanzahl von 8 sind trügerisch, da offenbar schnell vermeintlich richtig, aber tatsächlich oft falsch entschieden wird. Spätestens ab 8 Datenreihen erzielt die Graphanordnung Juxtaposition insgesamt günstigere Werte als beide Varianten unter Superposition.

Die Vermutung, "Finde Datenreihe" sei schwieriger als "Erkenne Verlauf" stimmt nicht generell. Denn bei 2 Datenreihen ist "Finde Datenreihe" erkennbar schneller als "Erkenne Verlauf". Erweitert man den 3-faktoriellen Versuchplan um den weiteren Faktor "Fragestellung", dann scheint den Daten zufolge eine Wechselwirkung zwischen Aufgabentyp und Datenreihenanzahl vorzuliegen. Man kann Sie im Index "Ergebnisse Gesamtüberblick" sehen.

7.0 Schlußfolgerungen und Diskussion

Aufgrund der bisherigen Befunde werden einige Empfehlungen gegeben werden, die selbstverständlich nur bezogen auf die hier geprüften Fragestellungen Gültigkeit beanspruchen. Darüber hinaus werden manche Erklärungen und einige über die Daten hinausgehende Spekulationen geäußert.

7.1 Graphiktyp bei einer Datenreihe

Bei einer Datenreihe sind Liniendiagramm und Säulendiagramm vergleichbar gute Graphentypen, um Verläufe zu erkennen. Dieses Ergebnis könnte die Auswahl des Säulendiagramms für solche Fragestellungen favorisieren, wo neben Verlaufsinformationen hauptsächlich auch das Ablesen der Größenwerte sowie Unterschiede zwischen den Größenwerten (z.B. maximaler und minimaler Wert bzw. das Verhältnis zweier Größenwerte usw.) von besonderem Gewicht sind. Mit dieser Empfehlung liegen zugleich gerichtete Hypothesen für weitere beabsichtigte empirische Überprüfungen vor. Besondere Vorteile für das Säulendiagramm sind immer dort zu erwarten, wo die Zuordnung von Größenwert zur Rubrikenbezeichnung wichtiger Bestandteil der Aufgabenanforderung ist. So läßt sich beispielsweise in einem 100 Rubriken umfassenden Liniendiagramm der Wert für den Meßzeitpunkt 63 nur sehr schwer lokalisieren und somit können auch Vergleiche zwischen einzelnen Werten nur mühsam vorgenommen werden.

7.2 Graphikvariante bei einigen Datenreihen

Bereits ab der zweiten Datenreihe liefert das Säulendiagramm in der Graphanordnung "Superposition" ungünstigere Zeitwerte als die übrigen Graphvarianten. Das ist wahrnehmungspsychologisch zumindest plausibel. Sieht man vom erhöhten Zeitbedarf ab, so ist das Säulendiagramm unter Superposition gemessen an der Genauigkeit aber bis zu vier Datenreihen nachweislich noch zumutbar, wenn auch speziell für die Fragestellung des Trenderkennens sicher nicht die Graphikvariante der Wahl. Ich würde somit z.B. bei der Darstellung varianzanalytischer Ergebnisse mit 4 Datenreihen das Liniendiagramm dem Säulendiagramm dann vorziehen, wenn etwa die Wahrnehmung von Entwicklungen und Interaktionen besonders wichtig wäre. (Hinweis: Wir stellen im Index beide Varianten dar!). Nachteil des Liniendiagramms gegenüber dem Säulendiagramm bei mehreren Datenreihen ist die potentielle Überlappung von Datenelementen (was z.B. im Index für die Genauigkeit sehr anschaulich auffällt), die bestimmte wichtige Daten verschwinden lassen kann, sofern keine Sondermaßnahmen (Cleveland 1985) ergriffen werden, die wiederum Interpretationsaufwand erfordern.

Bis zur vierten Datenreihe sind superpositioniertes Liniendiagramm und die Graphvarianten unter Juxtaposition vergleichbar gut geeignet. Superlinie kann somit bis zu mindestens 4 Datenreihen beim Erkennen von Kurvenverläufen mit Juxtaposition mithalten, läßt aber darüber hinaus, wie z.B. Schutz (1961b) aufzeigte, deutliche Vorteile für andere Fragestellungen erwarten. Hier ist insbesondere zu vermuten, daß Superlinie bei Fragestellungen, die einen Vergleich zwischen den Datenreihen bzw. einen Vergleich zwischen Elementen von verschiedenen Datenreihen erfordern, entschieden günstiger abschneidet, was Schutz (1961b, Aufgabe Comparison) klar nachgewiesen hat.

7.3 Graphikvariante bei vielen Datenreihen

Spätestens ab 8 Datenreihen empfiehlt sich die Graphanordnung Juxtaposition, wobei unter dieser Graphanordnung der Graphiktyp kaum eine wesentliche Rolle spielt. Die unwesentlichen Unterschiede der Graphiktypen unter Juxtaposition lassen sich vermutlich darauf zurückführen, daß hier bei der Wahrnehmung und Prüfung mehrerer Datenreihen ähnliche Prozesse stattfinden wie bei Prüfung einer Datenreihe. Die für beide Graphiktypen gemeinsame Hauptanstrengung scheint offenbar nur darin zu liegen, das zu analysierende Diagramm aus der Gesamtpräsentation heraus zu isolieren. Dazu müssen aber die einzelnen Datenreihen jede für sich selbst analysiert werden, und dieses funktioniert annähernd gleich gut. Diesen Gedankengang induktiv weitergedacht, könnte man folgern: "Unterschiede der Graphentypen unter Juxtaposition lassen sich dann aufgrund der Ergebnisse für eine Datenreihe ableiten, wenn die Antwort mit einer Datenreihe auch

beantwortet werden kann. So müßte man danach etwa ableiten, daß die Unterschiede der Graphiktypen unter Juxtaposition für die Fragestellung "Welches Datenelement erzielt beim Verlauf xy den höchsten Größenwert" durch das Ergebnis der Testung einer Datenreihe für beide Graphiktypen für alle möglichen Datenreihenanzahlen prognostiziert werden könnte.

Die Graphanordnung Superposition ist vornehmlich wegen der mangelnden Genauigkeit bei 8 Datenreihen klar überfordert. Dies gilt auch für das Liniendiagramm. Die untersuchte Stichprobe läßt bezogen auf die untersuchte Fragestellung die logische Folgerung zu, daß die Anzahl der noch zu verkraftenden Datenreihen in einem superpositionierten Liniendiagramm im Bereich 4 bis 7 liegen muß. Allerdings gilt zu beachten, daß hier mit der Farbe als Selektionsvariable für die Datenreihen ziemlich optimale Wahrnehmungsbedingungen vorlagen und diese Ergebnisse nicht ohne weiteres auf schwarz-weiß codierte Datenreihen, möglicherweise noch mit unterschiedlichsten Symbolen, extrapoliert werden können.

7.4 Ausschließliches Interesse an Verläufen bei einer Datenreihe

Wenn es ausschließlich um die Wahrnehmung eines Kurventrends geht und alle anderen Fragestellungen irrelevant sind, dann empfiehlt sich in jedem Falle eine Darstellung in der Graphanordnung Juxtaposition, da hier das Problem der Überlappung nicht vorkommt und diese Graphanordnung niemals schlechter abschneidet als die jeweils beste unter Superposition. Man braucht dann auch keine Farbe, aber möglicherweise etwas mehr Platz zur Darstellung. Allerdings hat die Darstellung mit einem derartig ausschließenden Zweck selten einen Sinn, weil man meistens zumindest die verschiedenen Verläufe miteinander vergleichen will. Deshalb bin ich besonders gespannt auf einen startbereiten Vergleich Liniendiagramm vs. Juxtaposition bei Fragestellungen zu Trendäquivalenzen oder Trendvergleichen bei mehreren Datenreihen.

7.5 Wahrnehmung von Kurvenverläufen

Die hier und bei Jacobs 1990 gefundenen Ergebnisse des Trenderkennens für eine Datenreihe legen die Vermutung nahe, daß der Verlauf einer Kurve sukzessiv und somit nicht auf einen Blick erfaßt wird, weil komplexere Datenverläufe deutlich mehr Zeit beanspruchen. Dennoch funktioniert die Wahrnehmung des Verlaufs entschieden schneller als bei Tabellen, woraus man vielleicht schließen kann, daß manche Kurvenabschnitte direkt wahrgenommen werden. Vielleicht sind die Ergebnisse auch von der Methode abhängig. Die Methode erzwingt geradezu kognitive sequentielle Überprüfung der Wahrnehmung. Man könnte die Vermutung vielleicht besser prüfen, wenn man entscheiden ließe, ob ein bestimmter Verlauf vorliegt oder nicht. Für die Zukunft ist eine weitere Methode geplant, bei der die Vp die Kurvenverläufe nicht mehr verbal entscheiden, sondern den graphisch gezeigten prototypischen Verlauf anklicken muß. Bei mehreren Datenreihen erhält die Vp dann bei "Finde Verlauf" zunächst einen Verlauf graphisch dargeboten und muß in der folgenden Präsentation entscheiden, wo der entsprechende Verlauf lokalisiert ist. Dieses Vorgehen erfordert ein eher ganzheitliches Vorgehen, und so können auch differenziertere Verläufe analysiert werden.

Literatur

- Bertin, J. (1974). Graphische Semiologie. Diagramme, Netze, Karten. (übersetzt von G.Jensch, D. Schade, W. Scharfe). Berlin: Walter de Gruyter.
- Cleveland, W. S. (1985). The Elements of Graphing Data. Monterey, California: Wadsworth advanced Books and Software.
- Croxton, R. E., & Stein, H. (1932). Graphic comparison by bars, squares, circles and cubes. Journal of the American Statistical Association., 27, 54-60.
- Culbertson, H. M., & Powers, R. D. (1959). A study of graph comprehension difficulties. AV Communication Review, 7, 97-100.
- Feliciano, S. D., Powers, R. D., & Kearl, B. E. (1963). The presentation of statistical information. AV Communication Review, 11, 32-39.
- Jacobs, B. (1990). Ein Vergleich der Auswirkungen graphischer und tabellarischer Präsentationsformen auf die Schnelligkeit und Genauigkeit beim Erkennen und Interpretieren statistischer Daten. Saarbrücken. Arbeitsberichte des Medienzentrums der Philosophischen Fakultät der Universität des Saarlandes. Nr. 3
- Rinck, M. (1989). Die Strukturierung von Wissen durch statistische Graphen. Dissertation. Universität Marburg.
- Schutz, H. G. (1961 a). An evaluation of formats for graphic trend displays-Experiment II. Human Factors, 3, 99-107.
- Schutz (1961 b). An Evaluation of Methods for Presentation of Graphic Multiple Trends - Experiment III. Human Factors, 3, 108-119.

Anhang

Explizierung der Hypothesen zum durchgeführten Experiment

- A Graphikanordnung (Superposition, Juxtaposition)
- B Graphiktyp (Säulendiagramm, Liniendiagramm)
- C Anzahl der Datenreihen (1, 2, 4, 8)

Fragestellung 1:

Welcher von 8 möglichen Kurvenverläufen repräsentiert die Datenreihe x ?
 (wobei Datenreihe bei Superposition durch die Angabe der Farbe der Datenreihe, bei Juxtaposition durch die Diagrammnummer vorgegeben werden und die Reaktion der Vp in der Auswahl aus den 8 möglichen Kurvenverläufen besteht).

Es wird eine 3 faktorielle Varianzanalyse (2x2x3) mit Meßwiederholung auf allen Faktoren durchgeführt und folgende signifikante Ergebnisse erwartet

- Haupteffekt A: schnellere Reaktionszeiten für Juxtaposition
- Haupteffekt B: schnellere Reaktionszeiten für Liniendiagramm
- Haupteffekt C: schnellere Reaktionszeiten mit sinkender Datenreihenanzahl (trivial)

Interaktionen:

AxB : Der Unterschied zwischen den Graphiktypen ist bei der

Graphikanordnung Superposition größer als bei der Graphikanordnung Juxtaposition.

AxC : Der Unterschied zwischen den Graphikanordnungen nimmt mit wachsender Anzahl der Datenreihen zugunsten (schnellere Reaktionszeiten) von Juxtaposition zu.

BxC : Mit wachsender Anzahl der Datenreihen wächst der Vorteil des Liniendiagramms gegenüber dem Säulendiagramm.

entscheidende Hypothese:

AxBxC : Der Unterschied des Liniendiagramms gegenüber dem Säulendiagramm steigt mit wachsender Datenreihenanzahl entschieden stärker bei der Graphikanordnung Superposition als bei der Graphikanordnung Juxtaposition.

weitere Spezifikationen:

1. Bei einer Datenreihe sind keine Unterschiede zwischen Liniendiagramm und Säulendiagramm festzustellen.

In Abhängigkeit des Zutreffens von 1 wird 2 formuliert.

2. Bei der Graphikanordnung Juxtaposition sind über alle Datenreihen hinweg keine Unterschiede zwischen den Graphiktypen festzustellen. (Hypothese 2 kann sich entsprechend der in 1 gefundenden Ergebnisse ändern, z.B. wenn 1 Vorteile für Liniendiagramm bringen sollte, dann sind diese Vorteile für alle Datenreihenanzahlen bei Juxtaposition anzunehmen).
3. Bei der Graphikanordnung Superposition beginnt der Vorteil des Liniendiagramms gegenüber dem Säulendiagramm bei Datenreihenanzahl 2 und wächst dannach stetig an. (eindeutige Erwartung einer ordinalen Interaktion zwischen Graphiktyp und Datenreihenanzahl für Graphikanordnung Superposition)
4. Besonders interessant ist die Frage, ob Juxtaposition günstiger ist als das Liniendiagramm. Es werden bis 4 Datenreihen vergleichbare und für die Datenreihenanzahl von 8 Vorteile für Juxtaposition angenommen.

2. Fragestellung:

Welche Datenreihe entspricht dem Kurvenverlauf x ?
(wobei stets ein bestimmter Kurvenverlauf vorgegeben wird und die Vp bei Superposition die Farbe der Datenreihe und bei Juxtaposition die Nummer des Diagramms angeben muß.

Es werden ähnliche Hypothesen wie bei Fragestellung 1 erwartet, jedoch mit folgenden Spezifikationen und Abweichungen:

1. Die Effekte werden deutlicher in Erscheinung treten.
2. Es bleibt für alle Datenreihenanzahlen offen, ob Liniendiagramm (Superposition) günstiger oder ungünstiger ist als Juxtaposition (diesbezgl 2 seitige Testung).

Wir haben obige Explikation vor Durchführung des Experimentes, am 7. Dez. 1993 in einem verschlossenen Umschlag erhalten und am 21. Dez. 1993 den Umschlag geöffnet.

Im Original folgen nun mehrere Unterschriften, die jedoch mehr als 500 KB beanspruchen und deshalb hier fehlen.
