

Autor: [Bernhard Jacobs](#), Medienzentrum der Philosophischen Fakultät der Universität Saarbrücken

created: 26.9.2000; last update 28.9.2000 ; [Download als Zip-Datei](#) (Version 28.9.2000) zum Offline-Lesen [pdf-Fassung vom 10.9.2004; ohne inhaltliche Veränderungen]

URL des Originals: <http://www.phil.uni-sb.de/~jakobs/wwwartikel/superline/index.htm>

*Graphical elegance is often found in
simplicity of design and complexity of data
(Tufte 1983 S.177)*

Graphische Präsentation von Ergebnissen aus mehrfaktoriellen Versuchsplänen

[Zusammenfassung](#)

[Problemstellung](#)

[Tabelle oder Graphik ?](#)

[Liniendiagramm oder Säulendiagramm ?](#)

[Superposition oder Juxtaposition ?](#)

[Grundsätzliche graphische Anordnung bei mehreren Linien](#)

[Einige Begrifflichkeiten \(UV, AV\) im superpositionierten Liniendiagramm](#)

[Die Abszissenvariable](#)

[Einige Varianten mehrfaktorieller Versuchspläne](#)

[Fall 1: Zweifaktorieller Versuchsplan](#)

[Gestaltungsprinzipien und Graphbeispiele für zweifaktoriellen Versuchsplan \(eigene HTML-Seite\)](#)

[Fall 1a: LinienvARIABLE B hat Nominalskalenniveau.](#)

[Fall 1b: Die LinienvARIABLE hat mindestens Ordinalskalenniveau](#)

[Fall 2: Linien können nach einer Gruppierungsvariablen gruppiert werden \(hierarchischer Versuchsplan\)](#)

[Fall 3: Linien können nach 2 Variablen gruppiert werden \(dreifaktorieller Versuchsplan\).](#)

[Mögliche Darstellung mehrerer Datenreihen in einem zweidimensionalen Liniendiagramm](#)

[Assoziativität | Selektivität | Assoziativität und Selektivität nach Bertin](#)

[Farbe als gute Wahl für verschiedene Linien](#)

[Farbe in Kombination mit sonstigen Farbmustervariablen](#)

[Einige fiktive Graphbeispiele für einen 3 faktoriellen Versuchsplan in Superposition](#)

[Potentielle Fragestellungen zur empirischen Prüfung](#)

[Zusammenfassender Schluss](#)

[Literatur](#)

Zusammenfassung

Die Arbeit befasst sich mit graphischen Gestaltungsmöglichkeiten von Ergebnissen (Zellenmittelwerten) aus mehrfaktoriellen Versuchsplänen und beschränkt sich dabei auf zweidimensionale Graphen. Dabei müssen stets mehrere Datenreihen in einer Präsentation untergebracht werden. Als geeigneter Graphtyp wird das Liniendiagramm in der Graphanordnung Superposition vorgeschlagen, weil es im Durchschnitt über viele Fragestellungen die beste Wahrnehmung verspricht. Damit eine Graphik ihren Zweck möglichst gut erfüllt, müssen über die Wahl des Graphformats hinaus bestimmte Datenanordnungen und Gestaltungsprinzipien berücksichtigt werden, die vornehmlich die Zuordnung von graphischen Elementen zu ihrer Bedeutung eindeutig klären und unmittelbar transparent machen. Ein wichtiger Aspekt betrifft die Frage, wie die Linien dargestellt werden sollen, wobei die Farbe als ein wesentliches visuelles Gestaltungsmerkmal angesehen wird. Aufbauend auf theoretischen Überlegungen von Bertin wird die Diskussion darüber angeregt, welche Farbmustervariablen geeignet wären, Linien zu ordnen bzw. Linien so zu kennzeichnen, dass sie als Faktorkombinationen erkennbar werden. Hierbei erscheint eine Kombination von Farbe und Muster besonders empfehlenswert, weil beide Variablen im Bertin'schen Sinne über die Eigenschaften der Assoziativität und Selektivität verfügen. Anhand konkreter Beispiele werden rein explorativ mehrere suboptimale Varianten veranschaulicht. Sie dienen dem Ziel, erste Vorschläge dafür zu unterbreiten, wie sich möglichst viele anspruchsvolle Fragestellungen mittels der Graphik beantworten lassen. Abschließend werden Anstöße für potentielle empirische Überprüfungen gegeben.

Problemstellung

Komplexere Datenpräsentationen beinhalten in der Regel mehr als eine Datenreihe. Im Bereich der Sozialwissenschaften denke man etwa an die Ergebnisdarstellung mehrfaktorieller Versuchspläne. Aus der Graphik sollte man möglichst schnell und ohne viel Mühe die wesentlichen Ergebnisse in prägnanter Form erkennen können. Aber auch interessante Details dürfen dabei nicht aus dem potenziellen Blickwinkel verschwinden. Damit dies alles möglich ist, muss der Graphdesigner entsprechende Orientierungen anbieten, die es erlauben, neben den einzelnen Daten Gruppierungen auf höherer Ebene anzuregen. Unter anderem ist zu klären, wie die Daten zu Datenreihen zusammengefasst werden, ob man Datenreihen gruppieren und die Gruppen noch differenzieren kann und wie eine Gesamtsicht als komplexes Gebilde einen Sinn ergeben kann.

Diese Arbeit befasst sich mit dem Problem, wie eine derartige Ordnung in zweidimensionalen Graphen gefördert werden könnte, bzw. welche visuellen Variablen hierfür besonders geeignet wären.

Tabelle oder Graphik ?

In wissenschaftlichen Publikationen ist grundsätzlich zu empfehlen, die Daten aus mehrfaktoriellen Versuchsplänen tabellarisch und graphisch darzustellen. Stünde ernsthaft die Alternative "Tabelle oder Graphik?" zur Auswahl, so würde ich mich für die Tabelle entscheiden, weil in einer vernünftigen Tabelle neben den Mittelwerten weitere Statistiken (z.B. s und N) enthalten sind, welche für die Interpretation der Befunde, etwa ein Abschätzen der Zuverlässigkeit und der Effektgröße verschiedener Effekte, unverzichtbar sind. Aus der Tabelle sind auch mühelos die exakten Daten zu entnehmen. Der Sinn der Graphik und ihr Vorteil gegenüber der Tabelle liegen darin, dem Leser die wesentlichen Relationen zu verdeutlichen ([Jacobs 1999](#)). Die graphische Darstellung der Ergebnisse beschränkt sich hier auf die Zellenmittelwerte. Gediga (ohne Datum) zeigt im Kap "[Darstellung von Gruppenvergleichen](#)" einige Präsentationen, die über Zellenmittelwerte hinaus z.B. Konfidenzintervalle veranschaulichen. Allerdings erschweren diese Graphiken den Blick auf die Beziehung zwischen den Zellenmittelwerten und können zudem recht schnell unübersichtlich werden.

Liniendiagramm oder Säulendiagramm ?

Die besten Wahrnehmungsbedingungen zur Erfassung graphisch dargestellter Daten liefern Präsentationen, welche einen Datenvergleich anhand von Positionen an der derselben Skala erlauben. Beispiele für derartige graphische Präsentationen sind etwa Liniendiagramm, Säulendiagramm, Scatterplot oder Dotchart. Die Genauigkeit der Wahrnehmung ist in diesen Graphiken der sonstiger visueller Variablen wie etwa Längen, Winkel oder Steigungen deutlich überlegen (Cleveland 1985). Obgleich sonstige Präsentationsgraphiken für ganz bestimmte Zwecke den oben genannten Präsentationen mindestens ebenbürtig sein können, so ist doch die Anwendungsbreite zur Beantwortung unterschiedlichster Fragestellungen z.B. im Linien -oder Säulendiagramm insgesamt höher, womit ihre häufige Anwendung schon eine gewisse Berechtigung hat.

Zur Ergebnisdarstellung mehrfaktorieller Versuchspläne werden in der Praxis sowohl Säulen- wie auch Liniendiagramme verwendet. **Ich plädiere jedoch eindeutig für die Verwendung des Liniendiagramms**, selbst dann, wenn das Messniveau aller Faktoren nur Nominalskalenniveau erreicht. Das kognitiv gefärbte Argument, man könne keine auf Nominalskala basierende Variablenausprägungen durch eine Linie verbinden, weil dieser Linie letztlich keine Ordnung zugrunde liegt, leuchtet zwar im Prinzip ein. Aber im ganz strengen Sinne darf man die meisten empirisch erhobenen Datenmittelwerte auch dann nicht einfach durch eine Linie

verbinden, wenn die entsprechende Datenvariable einer Rationalskala unterliegt. Der Leser darf eine Linie eben nicht unhinterfragt z.B. als Verlauf deuten, wenn es sich nicht um einen Verlauf handelt.

Die Wahrnehmungsvorteile sind bei Linien deutlich besser, und manche durchaus sinnvolle Beziehungen können anders kaum in einer zumutbaren Zeit aus der Graphik entnommen werden. Das gilt vor allem dann, wenn mehr als 2 Datenreihen in einer Präsentation dargestellt werden (Superposition). Im Vergleich zu Säulenreihen in einem Säulendiagramm sind Linien unmittelbar als Einheiten im Sinne einer Gestalt oder eines Musters wahrzunehmen. Für anspruchsvolle Fragestellungen müssen sich die Datenreihen miteinander vergleichen, sowie auch zu Gruppen bzw. zu einer Gesamtheit zusammenfassen lassen, womit das Säulendiagramm schnell überfordert ist.

Lässt man einige praktische Unwägbarkeiten wie z.B. Datenüberlappungen außer Acht, so sprechen die [experimentellen Studien von Jacobs \(1995\)](#) dafür, dass im Mittel über viele Fragestellungen hinweg das superpositionierte Liniendiagramm von den Wahrnehmungsbedingungen dem superpositionierten Säulendiagramm ziemlich klar überlegen ist. Der Vorteil des superpositionierten Liniendiagramms gegenüber dem superpositionierten Säulendiagramm zeigt sich vornehmlich beim Erkennen von Trends (siehe bereits Schutz 1961a) und Trendunterschieden und wächst mit zunehmender Anzahl der Datenreihen drastisch an (siehe die [Zusammenfassung von Graphikexperiment 2](#)). Trendvergleiche aber sind wesentlich zum Identifizieren möglicher Wechselwirkungen und betreffen somit eine Kernfrage mehrfaktorieller Versuchspläne. Die Ergebnisse stützen eine Empfehlung von Kosslyn (1994,S.34) "If there is little chance that readers will improperly infer in interval scale on the X axis, then a line graph is a good way to convey interactions even if a nominal or ordinal scale is used along the X axis." Auch Gillan et. al. (1998), die generell die Meinung vertreten, eine nominalskalierte UV solle typischerweise durch ein Säulendiagramm repräsentiert werden, erwägen auch bei kategorialer UV dann eine Ausnahme zugunsten des Liniendiagramms, wenn Interaktionen klar herausgestellt werden sollen.

Superposition oder Juxtaposition ?

Ab zwei Datenreihen stellt sich nach Bertin (1974) das Grundsatzproblem, ob man alle Datenreihen in einer Graphik (Superposition) unterbringen oder für jede Datenreihe eine eigene Graphik (Juxtaposition) konzipieren soll. (zur Veranschaulichung von [Superposition und Juxtaposition](#))

Im Sinne von Cleveland (1985) werden die Daten unter Superposition anhand der gemeinsamen Skala miteinander verglichen (position along a common scale), während in Juxtaposition zwar die gleiche, aber nicht die gemeinsame Skala (position along identical, nonaligned scale) für etliche Vergleiche zugrunde liegt. Bereits Schutz (1961b) konnte experimentell den Wahrnehmungsvorteil von Superposition gegenüber Juxtaposition nachweisen, überprüfte allerdings relativ anspruchslose Fragestellungen. Ergebnissen von Jacobs (1995) zufolge (siehe [Gesamtübersicht](#)) zeigt sich der Vorteil der common scale (Superposition) gegenüber Juxtaposition insbesondere dann sehr deutlich,

- **wenn die Daten mehrerer Linien innerhalb einer Stufe der Abszisse miteinander verglichen werden müssen, z.B..**

"Welche Linie erzielt bei einer bestimmten Rubrik auf der Abszisse den höchsten Wert?"

- **wenn bestimmte Auffälligkeiten in der Gesamtpräsentation entdeckt werden sollen, z.B.**

Wo liegt der höchste Wert in der gesamten Präsentation ?

- **wenn mehrere Linien im Verlauf über die X-Achse auf bestimmte Eigenschaften hin miteinander verglichen werden sollen, z.B.:**

An welcher Stelle der X-Achse ist der größte Unterschied zwischen 2 Linien festzustellen.

In welchem Bereich (bei welcher Linie) ist der stärkste Anstieg oder Abfall in der gesamten Präsentation zu erkennen.?

Wo auf der X-Achse schneiden sich zwei Linien ?

- **wenn Linienmittelwerte miteinander verglichen werden sollen, etwa:**

Welche Linie erzielt den höchsten Mittelwert ?

Im Graphformat Superposition ermöglicht die kompakte Darstellung aller Daten auf einem Blick viele direkte Vergleiche ohne dass das Auge große Entfernungen überbrücken und ständig hin und her springen muss. Allerdings sind juxtapositionierte Graphen für das Erkennen von Trends und Trendvergleichen bei 4 Linien dem superpositionierten Liniendiagramm mindestens ebenbürtig und spätestens ab 8 Linien eindeutig günstiger als superpositioniertes Liniendiagramm. (siehe: [Do n Data Sets Show the Same Trend or Not?](#)) . Einige Nachteile juxtapositionierter Graphen können, wie Cleveland 1985, S. 200 ff. aufzeigt, durch Zusätze bzw. Veränderungen eingedämmt werden.

Im Normalfall erscheint mir das superpositionierte Liniendiagramm das beste Graphformat zur Darstellung mehrfaktorieller Ergebnisse zu sein, was auch der Position von Cleveland (1985, S. 201) entspricht: "When it works, superposition is better than juxtaposition because it allows a more incisive comparison of the values of the different data sets." Die Leistungsfähigkeit von Superposition wird allerdings ab einer gewissen Komplexität überfordert sein und hängt zum Teil auch von der Datenkonstellation ab. Nichtsdestoweniger vertrete ich die These, das superpositionierte Liniendiagramm wo immer möglich zu verwenden.

Grundsätzliche graphische Anordnung bei mehreren Linien

Müssen mehrere (≥ 4) Linien graphisch dargestellt werden, ergeben sich grundsätzlich 3 Anordnungsvarianten

1. Alle Linien werden in einer Graphik angeordnet (Superposition)
2. Für jede Linie wird eine eigene Graphik erstellt (Juxtaposition)
3. Es werden jeweils mindestens zwei Linien in mindestens 2 Graphiken erstellt (Kombination aus Superposition und Juxtaposition)

In juxtapositionierten Präsentationen werden die Ausprägungen der Linienvariablen (die Datenreihen) durch die Positionierungen der einzelnen Graphiken voneinander abgegrenzt. In superpositionierten Darstellungen müssen sich die Datenreihen gut voneinander unterscheiden lassen. Zur Differenzierung der Datenreihen eignen sich hervorragend unterschiedliche Farben (z.B. Travis, D. (1991), Lohse (1993) konnte den Vorteil farbiger Linien gegenüber monocromen Linien in einem komplexen superpositionierten Diagramm empirisch nachwei-

sen. "If color is available we do not as frequently need to give up superposition and use juxtaposition". (Cleveland 1985, 205).

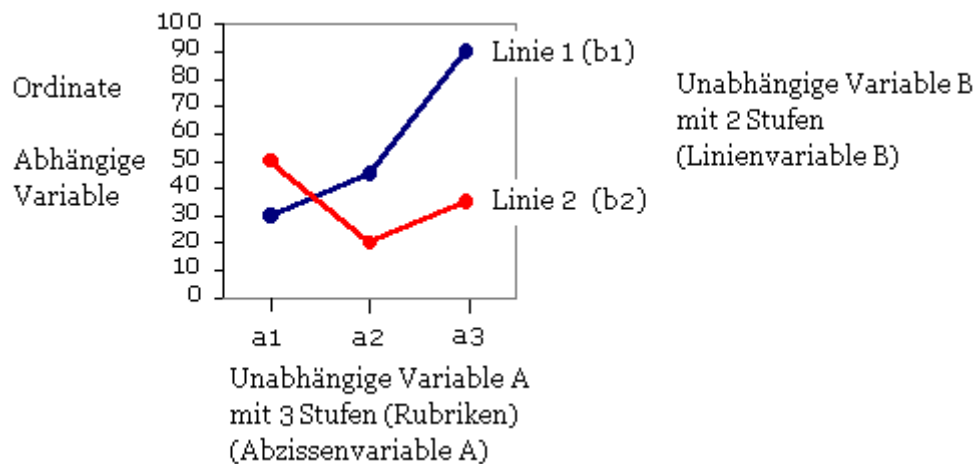
Bei der Kombination aus Superposition und Juxtaposition könnte jedes Diagramm eine Ordnungsfunktion übernehmen. D.h. diejenigen Linien, die man gruppieren will, werden jeweils in einer superpositionierten Graphik dargestellt und man kann dann mehrere superpositionierte Graphen miteinander vergleichen. Eine Kombination von Superposition und Juxtaposition bietet sich insbesondere auch dann an, wenn man mehrere abhängige Variablen erhebt. Für jede abhängige Variable wird dann ein superpositioniertes Diagramm erstellt und die Diagramme in Juxtaposition angeordnet, wodurch man sehr schnell mögliche unterschiedliche Wirkungen der Treatments auf die einzelnen AV's einschätzen kann. (siehe Gillan et al. 1998). Kosslyn (1994, S.54) schlägt vor, in der Regel nicht mehr als 4 Linien für ein superpositioniertes Diagramm zu verwenden. Entscheidend ist aber weniger die Anzahl der Linien, sondern die Schwierigkeit, die Linien als Chunks zu betrachten, was Kosslyn offenbar auch meint: "Do not present more than four **perceptual units** in one panel."

Gute Wahrnehmungsbedingungen sind nicht das einzige Kriterium für die Auswahl einer graphischen Präsentation. Schnelle kognitive Orientierung, etwa die Beantwortung der Fragen "Was wird hier überhaupt dargestellt?" oder "Welche Linien könnte man zu einer Gruppe zusammenfassen?" ist mindestens ebenso wichtig bzw. notwendige Voraussetzung dafür, sich mit den Beziehungen in der Graphik sinnvoll auseinander setzen zu können. Wie einige Untersuchungen (z.B. Shah & Carpenter (1995)) aufzeigten, benötigen die Graphleser zum Erkennen der Graphbestandteile in einem mehrfaktoriellen Fall deutlich mehr Zeit als zum Erfassen der Datenbeziehungen.

Es könnte so durchaus der Fall eintreten, dass Superposition von den Wahrnehmungsbedingungen Juxtaposition überlegen, von der kognitiven Orientierung aber unterlegen ist. Die kognitive Belastung zur Identifizierung der Graphikbestandteile muss möglichst gering ausfallen, damit sich die Aufmerksamkeit auf die Beziehung zwischen den Variablen konzentrieren kann. Im Sinne der Cognitive-Load-Forschung geht es darum, den Split-Attention-Effekt (z.B.: [Cooper 1998](#)) zu minimieren. Um etwa die Bedeutung der Datenreihen schnell erkennen zu können, empfiehlt es sich, auf eine Legende zu verzichten und stattdessen die Linien direkt ortsnahe zu beschriften (Milroy & Poulton (1978)).

Einige Begrifflichkeiten und Variablenfestlegungen im superpositionierten Liniendiagramm für mehrfaktorieller Versuchspläne

In der Literatur ist der Begriff Liniendiagramm keineswegs eindeutig festgelegt. Die hier angesprochenen Liniendiagramme enthalten keine reinen Linien, sondern sind eigentlich Punkteliniendiagramme, weil die Daten auf den Linien durch Symbole gekennzeichnet sind, oder anders ausgedrückt: Die Datenpunkte werden durch Linien verbunden. Nur so ist sichergestellt, dass die Zellenmittelwerte eindeutig lokalisierbar sind, wodurch Vergleiche zwischen den Datenpunkten wesentlich vereinfacht werden. Derart konzipierte Liniendiagramme sind selbst beim [Ablesen der Daten \(point-reading\)](#) dem Säulendiagramm ebenbürtig (Jacobs 1995). Mir sind keine Untersuchungen bekannt, aus denen ableitbar wäre, welche Symbole (Vollkreis, Hohlkreis, Quadrat, Kreuz usw.) nun für Liniendiagramme besonders vorteilhaft wären. Cleveland (1985, S.196) zeigt etliche Plotsymbole auf, die sich durch hohe Trennbarkeit auszeichnen. Die Arbeit von Tremmel (1992) befasst sich psychologisch ganz grundlegend mit der Frage nach den besten Symbolen in graphischen Darstellungen. Die theoretischen Ausführungen, sowie die Experimente beziehen sich aber wie bei Cleveland eher auf Punktediagramme (Streuungsdiagramme). Für Liniendiagramme interessiert vielleicht vornehmlich, wie man Symbole bei Datenüberlappung handhaben soll (Cleveland 1995, S. 196, Tremmel (1992, S.3). Gillan et. al. (1998) empfehlen große Symbole (deutlich größer als die hier dargestellten) und für jede Linie andere Symbole. Den Symbolen wird im nachfolgenden nur eine untergeordnete Rolle zugewiesen.

Abbildung 1. Anschauungsbeispiel für ein superpositioniertes Liniendiagramm

Bei der Darstellung von Daten unterscheide ich unabhängige und abhängige Variable(n), auch wenn diese Unterscheidung im versuchsplantechnischen Sinne keineswegs immer zwingend gegeben ist. Bei manchen Ex-post-Facto-Untersuchungen ist z.B. häufig unklar, was UV und AV sein soll. Die Messergebnisse der abhängigen Variablen werden an der Ordinate aufgetragen. Eine der unabhängigen Variablen wird auf der Abszisse angeordnet. Die Rubriken (Kategorien) auf der X-Achse bezeichnen die Stufen dieser unabhängigen Variablen, wobei ich aus Gründen der Spezifizierbarkeit der Stufen des Faktors auf der Abszisse stets eine klar wahrnehmbare Markierung (z.B. ein kleiner Kreis) für die Datenpunkte auf den Linien festlege. Existiert nur eine UV, dann werden die Stufen dieser UV als Kategorien der Abszisse dargestellt und die Daten lassen sich in einem Liniendiagramm als eine einzige Linie (z.B. nur die blaue Linie in Abbildung 1) darstellen. Diesen trivialen Fall will ich hier nicht betrachten, sondern habe stets den mehrfaktoriellen Fall vor Augen, der immer mindestens zwei Linien umfasst (siehe Abbildung 1). Zur Förderung von Klarheit lege ich fest:

Unabhängige Variablen

A= Abzissenvariable mit den Stufen a1, a2, a3 ...

B= LinienvARIABLE mit den Stufen b1, b2 ...

C= Gruppierungsvariable der Linien mit den Stufen c1, c2...

Abhängige Variable

X_{ijk} = Abhängige Variable (Zellenmittelwert) unter Faktor A,B,C

Die Abzissenvariable A

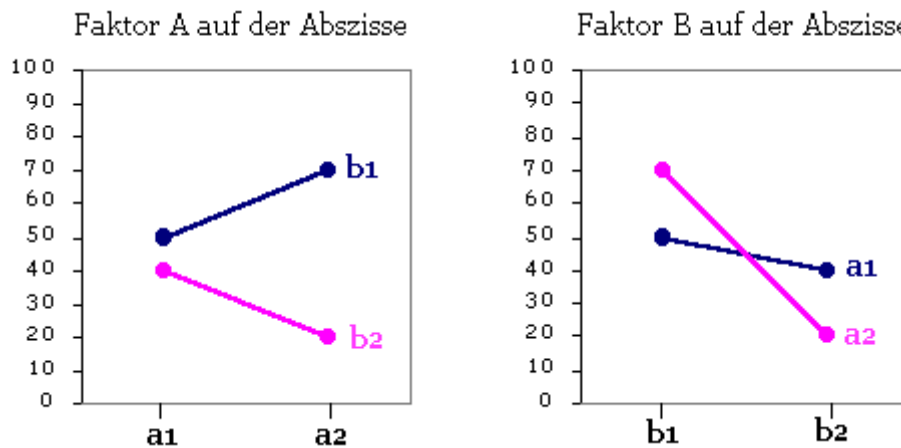
In Abweichung zu mathematisch bekannten Graphen gehe ich - wie oben bereits ausgeführt - **nicht** grundsätzlich davon aus, dass zur Präsentation von Daten die Werte auf der Abszisse zwingend ein hohes Skalenniveau aufweisen müssen, um nicht von vornherein bestimmte, durchaus sinnvolle Darstellungen aus formalen Gründen auszuschließen. Von der Wahrnehmung her erlaubt die X-Achse jedoch höchstmögliche Genauigkeit. Nach Bertin (1974, S. 77) sind die Dimensionen der Ebene, mithin auch die X-Achse, sowohl geordnet wie quantitativ und besitzen im Vergleich zu allen anderen visuellen Variablen insgesamt die besten Wahrnehmungseigenschaften zur Präsentation von Daten. Insofern ist der Graphdesigner natürlich gehalten, die Ordnungsmöglichkeiten der X-Achse voll auszuschöpfen, sofern keine anderen Gründe dagegen sprechen.

Die Fragen, welche der möglichen unabhängigen Variablen die Abszisse bilden soll und wie die Rubriken (Stufen) auf der X-Achse angeordnet werden sollen, sind somit zent-

rale Fragestellungen der Datenpräsentation, insbesondere dann, wenn sich eine Auswahl nicht direkt aufzwingt. Hierbei sind mehrere Faktoren zu beachten, die umfassend bei Rinck (1989) sowie Kosslyn (1994) diskutiert werden. Nach Befunden von Rinck (1989) wurden die Graphiken schneller verstanden und besser behalten, wenn die Abszissenvariable intervall- statt nominalskaliert war. Die Ergebnisse sprachen weiterhin dafür, die unabhängige Variable mit den meisten Stufen auf die X-Achse zu legen. Dadurch ergeben sich weniger Linien in der superpositionierten Graphik. Es ist offenbar einfacher, wenige lange Linien statt mehrerer kurzer Linien miteinander zu vergleichen, weil eine Linie als Gestalt bzw. Muster wahrgenommen wird und die gesamte Information dann prägnanter erfasst werden kann (siehe dazu auch Kosslyn (1994, S.73)).

Das graphische Bild einer Präsentation kann erheblich variieren, je nachdem welche Variable die Abszisse bildet. Die linke und rechte Graphik in Abbildung 2 zeigen dieselben Daten. Hierbei liegt der einfachste (vollständig überkreuzte) mehrfaktorielle Versuchsplan zugrunde.

Abbildung 2: Dieselben Daten, aber unterschiedliche graphische Bilder



Die Daten in Abbildung 2 lassen sowohl rechts wie links eine Interaktion erkennen, die aber rechts einen anderen Eindruck hinterlässt wie links. Dabei handelt es sich um eine [semidisordinale Interaktion](#), die in Abhängigkeit von der Wahl der Abszissenvariablen stets unterschiedliche Bilder erzeugt. Der Graphdesigner ist angehalten, diejenige Variante auszuwählen, welche das beste Verständnis im Hinblick auf die Beantwortung der wichtigsten Fragen fördert. Liegt eine nominalskalierte Abszissenvariable zugrunde, dann sollte der Graphdesigner auch die freie Auswahl der Stufenanordnung nutzen, um eine graphische Präsentation zu konzipieren, welche am ehesten verständlich ist. Generell ist einer Empfehlung von Gillan et al. (1998) zuzustimmen: "Design the graphs so that the most important variables for the hypothesis and /or applications are available to global perception and are most salient."

Einige Varianten mehrfaktorieller Versuchspläne

Nachfolgende Ausführungen beziehen sich auf zwei - und dreifaktorielle Versuchspläne und berücksichtigen dabei einige Besonderheiten.

Fall 1 Die Linien, d.h. die Stufen des Faktors B können a priori nicht zu Gruppen geordnet werden.

zweifaktorieller Versuchsplan (hier 4 x 3 faktorieller Versuchsplan).

Alle Stufen von A sind mit allen Stufen von B kombiniert.

	a_1	a_2	a_3
b_1	X_{11}	X_{21}	X_{31}
b_2	X_{12}	X_{22}	X_{32}
b_3	X_{13}	X_{23}	X_{33}
b_4	X_{14}	X_{24}	X_{34}

Fall 1a. LinienvARIABLE B hat Nominalskalenniveau.

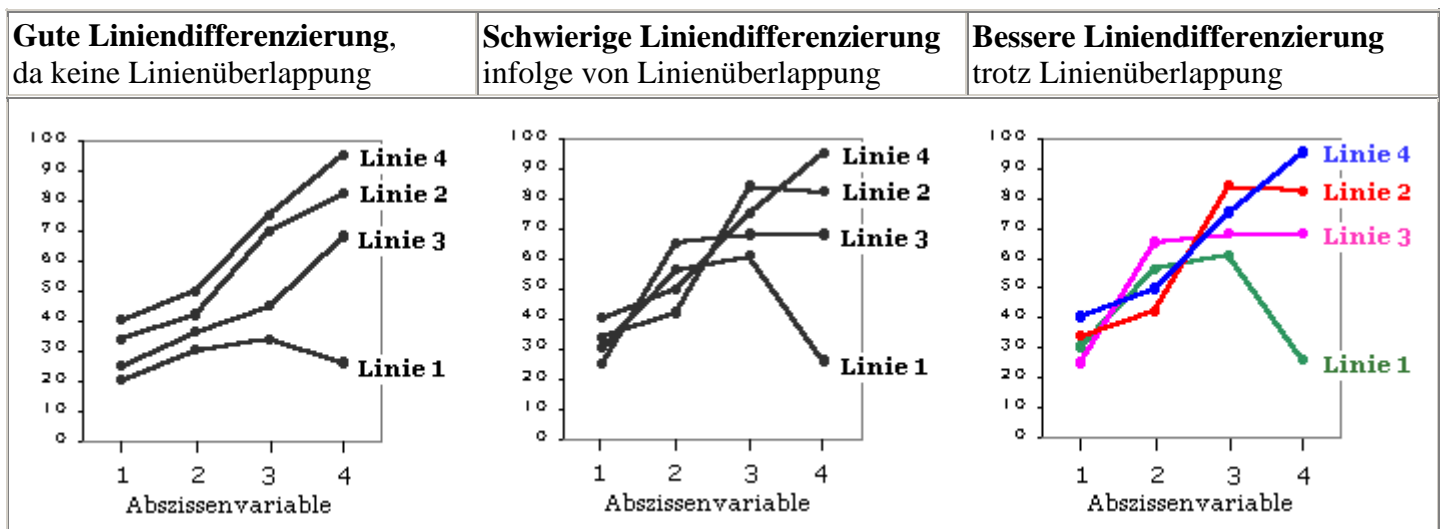
Beispiele:

- Die Kurse X_{ij} von 4 verschiedenen Aktien ($b_1..b_4$) werden zu 3 Zeitpunkten ($a_1..a_3$) dargestellt.
- Die Lernergebnisse X_{ij} von 3 Personengruppen ($b_1..b_3$) werden unter 4 experimentellen Bedingungen ($a_1..a_4$) erfasst.

Im ersten Beispiel werden die Verläufe von 4 verschiedenen Aktien dargestellt, wobei die Linien (die Aktien) vom Graphdesigner nicht weiter geordnet werden.

Die Faktorkombinationen werden für die Abszissenvariable durch die Position auf der X-Achse und für die LinienvARIABLE im einfachsten Fall durch die Zugehörigkeit zu einer Linie, letztlich also räumlich, festgelegt.

Abbildung 3: Beispiele superpositionierter Liniendiagramme für Fall 1a



Lassen sich alle Linien räumlich klar voneinander trennen und ortsnahe durch eine direkte Beschriftung kennzeichnen, so dass die Bedeutung jeder einzelnen Linie unmittelbar erfasst werden kann, dann würde es aus Gründen der Sparsamkeit genügen, alle Linien mit einer bestimmten Farbe (etwa schwarz) sowie mit einheitlichen Symbolen für alle Datenpunkte (etwa kleine Kreise) auszustatten. Die Möglichkeit einer derartigen Konstellation hängt allerdings von den Daten ab.

Spätestens bei Linienüberschneidungen versagt obige Datenpräsentation, weil Zweifel an den eindeutigen Zuordnungen von Linien zu ihrer Bedeutung auftreten können, was sich mit zunehmender Anzahl der Stufen der Abszissenvariablen verstärkt. Zumindest wären nun

unterschiedliche Symbole für die Markierung der Datenpunkte einzelner Linien sinnvoll, worauf jedoch in Abbildung 3 verzichtet wurde.

Um die Linien besonders klar voneinander abgrenzen zu können, wäre es (vermutlich grundsätzlich) ratsam, für jede Linie eine andere Farbe zu verwenden, was unten noch weiter begründet wird. Diese Liniendifferenzierung hat zudem den Vorteil, dass man die Bedeutung der Linie besser einschätzen kann, weil eine Assoziation Farbe : Linienbedeutung zur Identifikation genügt, während bei gleichfarbigen Linien immer die verbale Bezeichnung gesucht werden muss. Farbe hätte hier gegenüber anderen visuellen Variablen (etwa Musterung, Strichstärke usw.) den zusätzlichen Vorteil, dass Linie und Beschriftung, in derselben Farbe vorgenommen, die Zuordnung von Linie zur ihrer Bezeichnung ziemlich unmissverständlich verdeutlicht.

Von den Ergebnissen her könnten sich durchaus Ähnlichkeiten bzw. Unähnlichkeiten zwischen einzelnen Linien ergeben und so eine Gruppierung der Linien auf Ergebnisebene anregen, was aufzuzeigen ja auch der Sinn einer anspruchsvollen Darstellung ist, aber Ergebnis unabhängig wird vom Graphdesigner keine weitere Ordnung reingebracht, weil die Stufen der LinienvARIABLE auf Grund sonstiger Überlegungen als nicht weiter klassifizierbar eingestuft wurden.

In einem solchen Fall sind die möglichst rasche und spontane Identifizierung jeder einzelnen Linie sowie die Vergleichsmöglichkeiten der Linien über die Stufen der Abszissenvariablen A und innerhalb jeder Stufe von A entscheidend.

Der interessierte Leser findet auf einer eigenen html-Seite [einige Prinzipien und Beispiele für die graphische Gestaltung der Ergebnisse aus zweifaktoriellen Versuchsplänen](#).

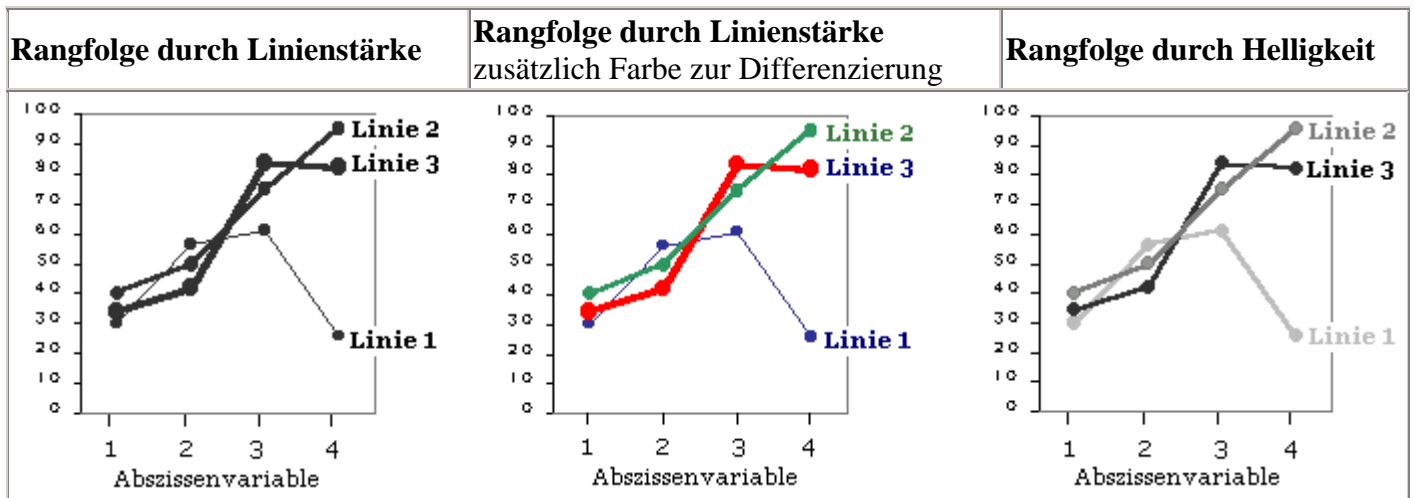
Fall 1b: Die LinienvARIABLE hat mindestens Ordinalskalenniveau

Lassen sich die Stufen der LinienvARIABLEN ordnen, dann ergibt sich für den Graphdesigner die Frage, ob er diesen Ordnungsgesichtspunkt dem Leser der Graphik auch graphisch mitteilen soll.

Beispiel:

Die Lernergebnisse X_{ij} von 3 Trainingseinheiten ($b_1 = 1$ Stunde, $b_2 = 2$ Stunden, $b_3 = 3$ Stunden) werden zu 4 Zeitpunkten ($a_1..a_4$) dargestellt. Im gegebenen Beispiel ist die Ordnung stiftende Funktion der Abszissenvariable bereits für die Zeitpunkte vergeben. Damit auch die LinienvARIABLE B eine Ordnung erhält, müsste aus der Linienkennzeichnung spontan ein mehr oder weniger an Training hervorgehen. Dafür benötigt man eine visuelle Variable, die eine Ordnung aufweist wie z.B. Helligkeit, Größe oder Muster (Bertin 1974). Abbildung 4 zeigt einige Beispiele.

Abbildung 4. Beispiele für LinienvARIABLE mit Ordinalskalenniveau, graphisch veranschaulicht.



Die Linien müssten sich aber

- gut differenzieren,
- in irgendeiner Form zusammenfassen (etwa für Mittelwertsbildung)
- eindeutig ordnen lassen,

was möglicherweise nicht optimal funktioniert und so Komplikationen nach sich ziehen könnte. Außerdem sind dann meistens zusätzliche Instruktionen vonnöten, weil der spontane Eindruck eben nicht eindeutig ist. Bei manchen Graphdesignern soll etwa die dicke Linie lediglich besondere Aufmerksamkeit auf sich lenken (highlight-function) und keineswegs eine Ordnungsbeziehung aufzeigen. Die Bedeutung der Linien wird deshalb auch bei Ordinalität der LinienvARIABLE meistens nur verbal vermittelt und graphisch nicht unterstützt. Sucht man aber nach Verbesserungsmöglichkeiten einer graphischen Gestaltung, kann es Vorteile für die Wahrnehmung bringen, wenn die Rangfolge der LinienvARIABLE ohne kognitive Belastung wahrnehmungsmäßig in Auge sticht.

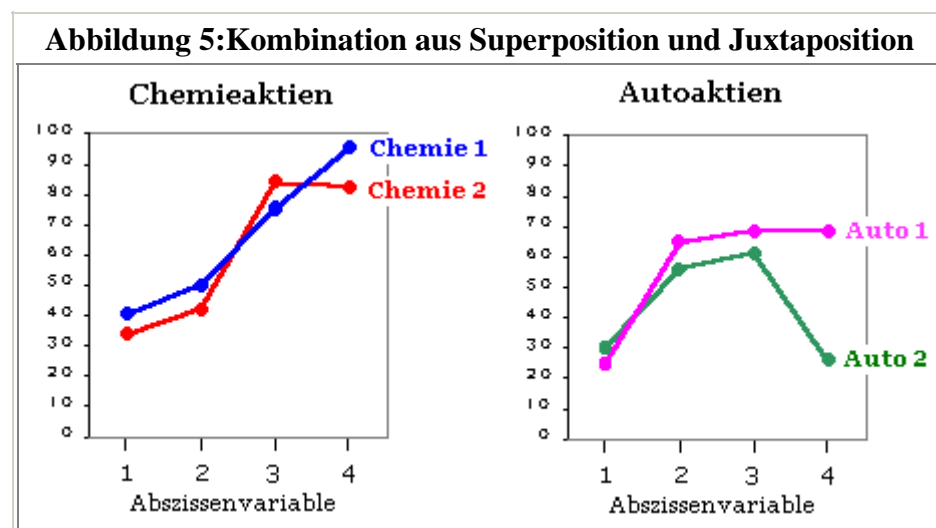
Fall 2: Linien können wenigstens nach einer Gruppierungsvariablen gruppiert werden dreifaktorieller hierarchischer Versuchsplan. Alle Stufen von A sind mit allen Stufen von B kombiniert, aber nicht alle Stufen von B mit allen Stufen von C.

		a₁	a₂	a₃
c₁	b₁	X ₁₁₁	X ₂₁₁	X ₃₁₁
	b₂	X ₁₂₁	X ₂₂₁	X ₃₂₁
	b₃	X ₁₃₂	X ₂₃₂	X ₃₃₂
c₂	b₄	X ₁₄₂	X ₂₄₂	X ₃₄₂

Beispiele

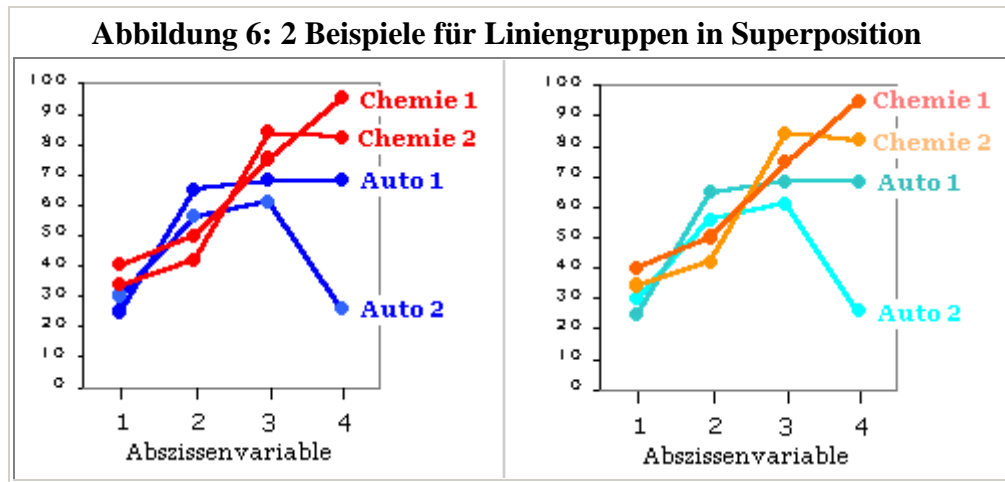
- 4 Aktien ($b_1..b_4$) lassen sich zu jeweils 2 Aktien einordnen in die Gruppe Chemie- (c_1) und Automobil (c_2)-Aktien und die Kurse X_{ijk} werden zu 3 Zeitpunkten a_1 bis a_3 erhoben.
- Schulklasse b_1 und b_2 erhält das Training c_1 . Schulklasse b_3 und b_4 das Training c_2 . Gemessen werden die Lernergebnisse X_{ijk} im Anschluss an die Übungsserien a_1 bis a_3

Im gegebenen Fall wird also vorausgesetzt, dass es irgendwelche Gründe dafür gibt, die LinienvARIABLE in mindestens 2 Kategorien (im ersten Beispiel Aktien zu Aktienbranchen) zu ordnen und dass es Sinn macht, diesen Ordnungsgesichtspunkt dem Leser graphisch zu vermitteln. Als Kombinationsvariante würde es sich anbieten, 2 Graphiken entsprechend der Ausprägung von C mit jeweils 2 Linien anzuordnen: (hier im ersten Beispiel: für jede Aktienbranche ein eigenes superpositioniertes Diagramm mit den entsprechenden Aktien darzustellen; siehe Abbildung 5).



Die Orientierung über die Stufen von C werden dem Leser durch geeignete Überschriften der einzelnen Graphiken schnell vermittelt werden. Zudem wurde hier jede Linie mit einer gesonderten Farbe spezifiziert, wodurch alle Linien durch Wahrnehmung eindeutig differenziert werden können. Zur Beantwortung vieler Fragestellungen reichte es allerdings auch aus, wenn alle Linien einheitlich (z.B. schwarz) dargestellt wären. **Die Kombination aus Superposition und Juxtaposition ist häufig eine gute Wahl, wenn ein ganzheitlicher Vergleich von Trends innerhalb einer Liniengruppe sowie zwischen den Liniengruppen angeregt werden soll und dieser Vergleich die entscheidende Frage beantwortet.**

Wie könnte man diese Orientierung im rein superpositionierten Diagramm fördern, d.h. was wäre am besten geeignet, die Linien zu Gruppen zusammenzufassen.



Eine relativ einfache Lösung bestünde darin, die Gruppen farblich zu differenzieren (In Abbildung 6 links: Chemieaktien rot, Autoaktien blau), würde dann aber auf eine gesonderte Kennzeichnung jeder Linie verzichten. Ob die gesonderte Linien spezifizierung tatsächlich notwendig sind, hängt z.T. auch von den Daten (z.B. Linienüberschneidungen) ab. Lassen sich die gleichfarbigen Linien räumlich klar abzugrenzen, dann müsste die Beschriftung der Linien meist ausreichen.

Ansonsten ist es notwendig innerhalb jeder Farbgruppe durch eine weitere Variable eine Differenzierung zu erreichen. Im rechten Beispiel der Abbildung 6 wird die Gruppenzugehörigkeit durch eine dominante Farbe (rötlich, bläulich), die Elemente der Gruppe durch die Helligkeit variiert, [was hier allerdings recht stümperhaft gemacht ist; Die Farben müssten zum einen kontrastreicher und die Abstufungen klar bzw. bei gleicher Farbe(hue) dürfte nur die Helligkeit (brightness) variieren]. Auf diese Weise wäre es im Prinzip möglich, innerhalb jeder Gruppe die Rangordnung (z.B. größere Aktiengesellschaft ist jeweils dunkler) zu veranschaulichen.

Kosslyn (1994, S. 149) versucht die Zusammengehörigkeit von Linien nicht durch visuelle Kennzeichnungen, sondern durch zusätzliche Beschriftungen zu verdeutlichen. Dabei werden die Gruppenbezeichnungen ortsnahe an die zu gruppierenden Linien platziert, was allerdings nur bei bestimmten günstigen Datenkonstellationen möglich ist.

Fall 3: Linien können nach 2 Variablen gruppiert werden.

vollständiger 3 faktorieller Versuchsplan (hier 3 x 2 x 2- faktorieller Versuchsplan)

		a_1	a_2	a_3
c_1	b_1	X_{111}	X_{211}	X_{311}
	b_2	X_{121}	X_{221}	X_{321}
c_2	b_1	X_{112}	X_{212}	X_{312}
	b_2	X_{122}	X_{222}	X_{322}

Beispiele

- A= Zeitaufwand zur Zielerreichung ($a_1 = 1$ Minute, $a_2 = 2$ Stunden, $a_3 = 1$ Tag)
B= subjektive Erfolgswahrscheinlichkeit ($b_1 = 0$, $b_2 = .50$)
C= erwartete Belohnung ($c_1 = 0$ Euro, $c_2 = 10$ Euro)
 X_{ijk} Motivation, die Arbeitstätigkeit auszuführen
- Die experimentellen Bedingungen b_1 und b_2 werden jeweils in Kombination mit den experimentellen Bedingungen a_1 bis a_3 sowohl in Situation c_1 wie c_2 eingeführt und die Messergebnisse X_{ijk} erhoben.

Im dritten Fall reicht eine graphische Variable für eine Linie mit Sicherheit nicht aus, um eine Linie in der Wahrnehmung als zu zwei Gruppen zugehörig zu kennzeichnen, weil eine Linie eine Kombination aus 2 Faktoren repräsentieren muss. Im Beispiel müssen aus einer Linie sowohl die subjektive Erfolgswahrscheinlichkeit wie auch die erwartete Belohnung hervorgehen. Meistens werden derartige Datenkonstellationen mit einer Kombination aus Superposition und Juxtaposition dargestellt, z.B. um überhaupt eine Wechselwirkung 2. Ordnung graphisch erkennen zu können, die ich z.B. für das Beispiel theoretisch erwarten würde. Dreidimensionale Graphiken hätten hier möglicherweise mal eine über die dekorative Funktion hinausgehende, echte Darstellungsfunktion, indem etwa der Faktor C auf der Z-Dimension angelegt würde. Die dreidimensionale Darstellung kann jedoch zu erheblichen Nachteilen führen, wie z.B. das Verdecken mehrerer Daten.

Mögliche Gestaltung mehrerer Datenreihen in einem zweidimensionalen Liniendiagramm

Zur spezifischen Kennzeichnung der Linien in einem Liniendiagramm sind prinzipiell mehrere Möglichkeiten denkbar. Jedes moderne Chartprogramm bietet etliche Linienformatierungsoptionen an. Neben der Linienfarbe sind meist die Linienstärke (dicke) und die Linienart (z. B.: gepunktet, verschiedene Strichkombinationen) variierbar. Nicht jede Kombination von Linienstärke und Linienart ist wählbar und nicht jede Kombination führt gegenwärtig zu einem ästhetisch befriedigenden Ergebnis (z.B. dicke gestrichelte Linien werden bei mir leider sehr unsauber dargestellt).

Bertin (1974) befasst sich theoretisch grundlegend mit relevanten Farbmustervariablen und diskutiert wichtige Wahrnehmungseigenschaften dieser Variablen auf Punkt-, Linien- und Flächenebene (Implantation). Eine Kurzfassung der Theorie von Bertin im WWW findet man bei Green (1999)

Um möglichst viele Vergleiche zwischen den Daten vornehmen zu können, muss die Farbmustervariable meiner Meinung nach im Sinne von Bertin sowohl über die Eigenschaft der Assoziativität wie auch über die Eigenschaft der "Selektivität" in linienhafter Implantation verfügen.

Assoziativität

Eine Farbmustervariable ist assoziativ, wenn man ihre unterschiedlichen Ausprägungen zu einer Gesamtheit zusammenfassen kann, d.h. wenn man in der Wahrnehmung spontan von dem Aspekt der Verschiedenheit der Ausprägungsstufen abstrahieren kann. "Die assoziative Wahrnehmung sucht eine Variation zu nivellieren und lässt die Unterschiede der Kategorien außer Acht." (Bertin 1974, S.73). Sind etwa rechts und links zwei gleich große Flächen vorgegeben, gelingt es beispielsweise ziemlich schnell zu entscheiden, ob rechts insgesamt mehr

kleine Kreise als links vorhanden sind, auch wenn die Kreise ganz unterschiedliche Farben aufweisen, weil die Farbe in punkthafter Implantation assoziativ ist. Ebenso würde man ein bestimmtes, durch die einzelnen Kreise angeordnetes Gesamtgebilde, etwa eine bestimmte Figur, sowohl rechts als auch links entdecken, auch wenn die Kreise unterschiedliche Farben aufwiesen. Diese Wahrnehmungsabstraktionen sind weitaus schwieriger, wenn statt der Farben z.B. die Größe der Kreise variiert wird, weil die Größe nicht assoziativ ist, sondern große Kreise kleine Kreise dominieren.

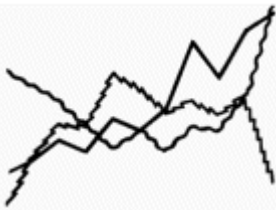

Selektivität

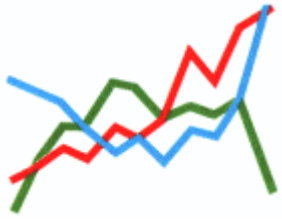
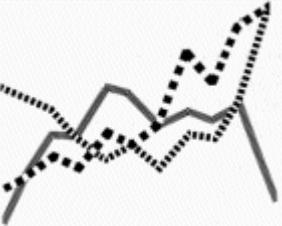


"Mit der selektiven Wahrnehmung sucht man die Frage zu beantworten: Wo ist diese bestimmte Kategorie?" (Bertin 1974, S.75). Eine Farbmustervariable ist selektiv, wenn man ihre verschiedenen Ausprägungen auch gut differenzieren kann. Dies gilt, wie leicht nachvollziehbar, ebenfalls für die Farbe. Denn man kann auch relativ spontan einschätzen, ob auf der rechten Seite insgesamt mehr blaue als rote Kreise vorhanden sind bzw. ob die roten Kreise für sich eine bestimmte Figur nahe legen, die sich von der Figur der blauen Kreise unterscheiden mögen. Eine derartige Wahrnehmungsleistung ist z.B. mit Formvariationen, wenn überhaupt, nur durch sehr hohe Anstrengung zu erzielen.

Assoziativität und Selektivität der Farbmustervariablen in linienhafter Darstellung

Selektivität ist notwendig, damit man die Linien gut differenzieren kann und Eigenschaften einer Linie aus dem Gemenge aller Linien isolieren kann (z.B. den Verlauf einer bestimmten Linie). Assoziativität ist notwendig, damit man bestimmte Linien, bestimmte Abschnitte von Linien zu Gruppen zusammenfassen und mit anderen Abschnitten vergleichen kann oder Eigenschaften der Gesamtheit aller Linien (z.B. Durchschnittsverläufe) analysieren kann.

Bertin (1974, , S.75 ff.) listet Farbmustervariablen auf, die man zur Variation von Linien verwenden könnte und demonstriert auch graphische Beispiele für derartige Linienvariationen. (siehe Tabelle 1). Die Formmustervariablen verfügen nicht alle generell über diese beiden erwünschten Eigenschaften. Für uns entscheidend ist auch nur, wie Selektivität und Assoziativität in linienhafter Implantation aussehen.

Tabelle 1: Eigenschaften von Farbmustervariablen in linienhafter Implantation nach Bertin				
Farbmuster-variable	asso- ziativ	selek- tiv	Beispiele von Bertin (1974, S.74)	Beschreibung für Liniendarstellung
Form	+	-		gezackte, wellige, glatte Linien. Es erfordert etliche Anstrengung, den Verlauf einer bestimmten Linie zu erkennen (unzureichende Selektivität)
Richtung	+	+		kleine aufeinander folgende Strecken in Linienrichtung. unterschiedliche Winkel der Strecken bilden verschiedene Linien

Farbe	+	+		rote, blaue, grüne Linien Hervorragende Linienerkennung und -differenzierung
Muster	asso- ziativ +	selek- tiv +		unterschiedliche Abstände zwischen dunklen und hellen Anteilen bzw. unterschiedliche Größe von dunklen und hellen Anteilen bei insgesamt gleichem Dunkelanteil: vergrößerte Graphik anfordern!
Helligkeit	-	+		dunkle, halbdunkle, helle Linien
Größe	-	+		dicke, mitteldicke, dünne Linien

+ = Eigenschaft ist gegeben - Eigenschaft ist nicht bzw. unzureichend vorhanden.

Ich danke Herrn Appel für das Einscannen der Graphiken und dem Verlag Walter de Gruyter für die Genehmigung.

Nach Bertin sind (in linienhafter Implantation) nur Richtung, Farbe und Muster sowohl selektiv wie assoziativ. Im strengen Sinne wären somit nur diese Variablen optimal geeignet, verschiedene Linien in einem Liniendiagramm darzustellen. Sowohl Richtungs- wie Mustervarianten für Liniendarstellungen sind in den mir bekannten geläufigen Chartprogrammen (Excel, SPSS, usw.) gar nicht vertreten. Muster und Richtung besitzen gegenüber Farbe den Vorteil, dass sie geordnet sind. (Farbe ist nur innerhalb eines gewissen Spektrums geordnet, etwa "zunehmendes Rot", siehe dazu Green 1999, [Kap 5](#)). Diese Variablen wären somit prinzipiell in der Lage, spontan verschiedene Linien im Sinne einer Ordinalskala einschätzen zu lassen. Allerdings haben beide Variablen eine geringe Komponentenlänge (= Anzahl möglicher Ausprägungen) und ich schätze, dass man kaum mehr als 3 Richtungs- bzw. Mustervarianten spontan zuverlässig differenzieren kann. Größe und Helligkeit sind zwar geordnet, jedoch nicht assoziativ, weil dunkle bzw. dicke Linien, helle bzw. dünne Linien dominieren und somit die Wahrnehmung von Gruppen und Gesamtheitsrelationen erschweren.

Farbe als gute Wahl für verschiedene Linien

Spielt die Ordinalrelation zwischen den Linien keine Rolle und müssen sich die Linien aus Gründen der Erkennbarkeit unterscheiden, dann dürften unterschiedliche Farben für verschiedene Linien die beste Kennzeichnung sein, weil

- Farbe assoziativ und selektiv ist,
- Farbe eine sehr große Komponentenlänge hat. Viele Farben lassen sich zuverlässig differenzieren.
- Jede Farbe auch noch bei recht kurzen Linienabständen bei einer bestimmten Mindestlinienstärke klar erkennbar ist.

Zudem "...color perception is fast, accurate, automatic, and effortless" Green (1999b, [Kap 5.6.](#)) "Color isn't the only way to parse the visual field, show similarity and difference relationships, and direct attention, but it generally is the best." Green (1999b, [Kap 5.8.](#)). Nicht ganz geklärt erscheint mir allerdings, welche der möglichen Farben man optimalerweise für die Linien auswählen soll, sofern lediglich Wahrnehmungsaspekte für diese Auswahl gelten sollen und kulturelle Aspekte (etwa rot = Gefahr, grün = Sicherheit) und Fragen der Konsistenz (etwa: SPD immer rot, CDU immer schwarz) ausgeklammert werden. Am wichtigsten erscheinen mir jedoch klare Abhebung vom Hintergrund (Sichtbarkeit) und eindeutige Unterscheidbarkeit voneinander. Danach gäbe es mehrere Möglichkeiten. Green (1999b) gibt in seinem Kapitel "[How do I use color in graphs and charts?](#)" etliche Ratschläge, macht allerdings keine verbindlichen Vorschläge in Form konkreter Beispiele. [Brewer \(1999\)](#) geht auf die Verwendung von Farben (hue, lightness, saturation) in graphischen Datenpräsentationen ein, legt dabei aber den Schwerpunkt eher auf Maps.

Wenn man die Linien durch unterschiedliche Farben darstellt, erzielt man

1. eine hervorragende Differenzierung der Datenreihen und
2. eine noch recht gute Wahrnehmung der Gesamtheit aller Datenreihen.

Mithin lassen sich wahrnehmungsgestützt relativ gute Vergleiche vornehmen

- zum Trendverlauf einzelner Datenreihen (z.B.: Welche Art von Trend zeigt die rote Datenreihe ?),
- zum Vergleich mehrerer Datenreihen (z.B. Ist der Trend der roten Datenreihe dem der blauen Datenreihe vergleichbar ?),
- über alle Datenreihen hinweg (z.B.: Steigen die Werte aller Datenreihen im Mittel an ?).

Farbe in Kombination mit sonstigen Farbmustervariablen

Für die Darstellung von Faktorkombinationen braucht man eine visuelle Variable, die einerseits eine Gruppierung ermöglicht, zugleich aber die Selektivität innerhalb der Gruppe bzw. die Selektivität in der Gesamtheit aller Datenreihen garantiert. Hierfür gibt es prinzipiell mehrere Möglichkeiten, die aber stets eine Kombination zweier visueller Farbmustervariablen beinhalten. Es ergibt sich die Frage, ob aus den prinzipiellen Möglichkeiten bestimmte Kombinationen besonders förderlich sind.

Hierbei stellt sich insbesondere die Frage, welche sonstige Farbmustervariable mit der Farbe kombiniert werden könnte. Von diesen Farbmustervariablen scheidet die Form aus, weil sie nicht selektiv ist. Helligkeit und Größe sind zwar in hohem Maße selektiv, aber nicht streng assoziativ, wodurch eine Gruppierung unter Abstraktion der Helligkeits- bzw. Größenvariation erschwert wird. **Im strengen Sinne sind nur die Variablen Richtung, Farbe und Muster sowohl selektiv wie auch assoziativ.** Da Richtung und Muster nicht kombinierbar sind, bleiben im Bertin-schen Sinne eigentlich nur die Kombinationen Farbe und Muster bzw. Farbe und Richtung übrig. Hierbei erscheint mir die Kombination Farbe und Muster am durchsichtigsten darstellbar. Während Farbe sehr viele Ausprägungen annehmen kann, sind

kaum mehr als 3 klar abgrenzbare Muster als Linien variierbar, was allerdings für die meisten praktischen Fragestellungen ausreichen dürfte. Außerdem ist zu beachten, dass ein gemusterter Linienabschnitt eine gewisse Mindestlänge aufweisen muss, damit die Mustervariation erkennbar bleibt. Man kann demnach keine 100 Zeitpunkte umfassende gemusterte Linie darstellen, während farbige Linien locker einen Verlauf über 100 Datenpunkte erkennen lassen.

Reduziert man den Komponentenanteil bei der Helligkeit und der Größe auf 2 oder höchstens 3, um die Assoziativität der Variablen zumindest anzuheben, dann erscheinen mir auch die Kombinationen von Farbe und Helligkeit bzw. Farbe und Liniendicke überlegenswert, zumal man diese Variablen mit Farbe kombiniert über sehr viele Rubriken auf der X-Achse ausdehnen kann. Da sowohl Helligkeit wie auch Größe im Gegensatz zur Farbe zudem geordnet sind, mag für manche Vergleiche die Kombination Helligkeit und Größe von besonderem Nutzen zu sein. Die unzureichende Assoziativität der Helligkeit ließe sich möglicherweise durch einen neutralen Hintergrund (z.B. grau) verbessern, weil dunkle und helle Linien in etwa gleich weit von grau entfernt sind (bzw. so gewählt werden mussten, dass sie wahrnehmungsmäßig als gleich weit entfernt eingeschätzt werden.).

Aus den Eigenschaften der einzelnen Variablen lässt sich keine Aussage über die Eigenschaften der Variablenkombination ableiten. Allerdings ist es unwahrscheinlich, dass die Kombination von Variablen Eigenschaften produziert, über welche schon die Einzelvariablen nicht verfügten, womit wir unser Auswahlverfahren zu rechtfertigen versuchen.

Letztlich müssen derartige visuelle Variablen im Sinne von Bertin

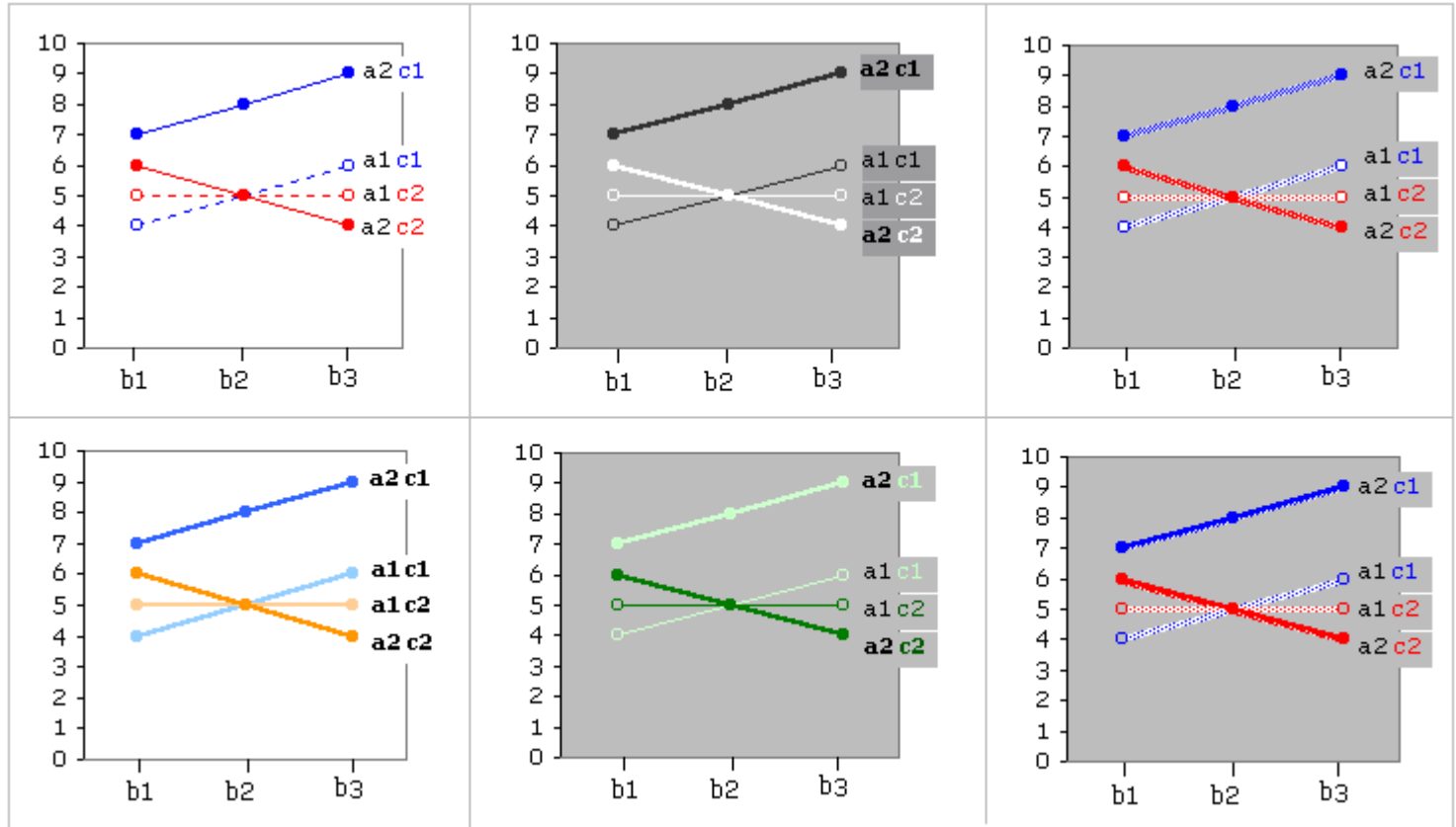
- assoziativ und
- selektiv sein und über Bertin hinaus
- in ihrer Kombination assoziativ und selektiv sein.

Einige fiktive Graphbeispiele für einen 3 faktoriellen Versuchsplan in Superposition

David W. Stockburger (ohne Datum) hat in dem WWW-Beitrag [Three Factor ANOVA](#) Daten für einen 2x3x2 - faktoriellen Versuchsplan konstruiert, welche alle möglichen Effekte (alle Haupteffekte sowie alle Wechselwirkungen) als signifikant erscheinen lassen. Er stellt allein 5 verschiedene Graphiken dar, um die möglichen Wechselwirkungen aufzuzeigen. Auf der Basis dieser Daten habe ich in Abbildung 7 einige Möglichkeiten angedeutet, wie alle Daten jeweils in einem superpositionierten Liniendiagramm dargestellt werden könnten, wobei die optimal erscheinende Kombination von Farbe und Muster für die Linien bei den mir verfügbaren Programmen nicht realisierbar war und nur partiell und laienhaft angedeutet werden konnte. Die Beispiele sind in mehrfacher Hinsicht nicht optimal gestaltet (z. B.: in Graphik 1 müsste die Liniestärke größer sein), sondern dienen als Anregung für explorative Versuche. Die Darstellung ist jeweils nicht zu komplex. Die Daten können deshalb sehr wohl in einer einzigen superpositionierten Graphik untergebracht werden. Im Gegensatz zur sonstigen hier verwendeten Symbolik ist nun aber Faktor B die Abszissenvariable. Der statistisch erfahrene Leser könnte ja mal versuchen, ob er die einzelnen Effekte in der Graphik bestätigen kann!

Abbildung 7

Ergebnisse eines dreifaktoriellen Versuchsplans in einer einzigen superpositionierten Graphik
 Insgesamt 6 mögliche Beispiele für jeweils die gleichen Daten auf der Basis eines konstruierten Beispiels von D. Stockburger
 In jeder Graphik sind die Zellenmittelwerte des 3 faktoriellen (2x3x2) Versuchsplans enthalten



Die relative Überschaubarkeit der Graphiken mag auch damit begründbar sein, dass es sich um konstruierte Daten handelt. Dennoch gelingt es nicht, spontan auf einen Blick die gesamte Information in Form eines graphischen Bildes im Sinne von Bertin zu entnehmen, weil mehr als 3 Komponenten, nämlich 2 Dimensionen der Ebene und 2 Farbmustervariablen gleichzeitig wahrgenommen werden müssen. "Bertin believes that efficient visualization is limited to three component visualizations. It is not possible to create an efficient four component visualization by adding a second retinal variable" (Green (1999, [Kap.3.](#)) Der Leser ist daher gezwungen, jeweils eine Farbmustervariablen bewusst zu ignorieren und die relevanten Beziehungen der übrig bleibenden Variablen gezielt in Augenschein zu nehmen, was mit einer gewissen kognitiven Belastung verbunden ist, die leider nicht mühelos funktioniert. Green (1999, [Kap 4](#)) referiert einige psychologische Theorien, die zu erklären versuchen, warum bei einer Kombination aus visuellen Variablen die präattentive Wahrnehmung versagt und gesteigerte Aufmerksamkeit notwendig ist. In [Kap 5](#) erwähnt Green einige visuelle Möglichkeiten, 4 Komponenten mühelos zu erkennen. Die Realisierung setzt meist die Hilfe des Computers voraus und ich kann mir nur schwer ein Beispiel dafür vorstellen, wie ein entsprechendes Liniendiagramm aussehen könnte. Das Verständnis für Ergebnisdarstellungen wie in Abbildung 7 setzt sicherlich eine gewisse Einübung voraus und könnte mit zunehmender Übung besser werden. (Green 1999, Kap 5).

In der konkreten Forschungspraxis sind analoge Darstellungen nicht so einfach zu finden. Auf einer eigenen html-Seite habe ich zwei Beispiele zusammengefasst, die ich via Internet gefun-

den habe (siehe dazu: [Beispiele für graphische Datenpräsentation eines dreifaktoriellen Versuchsplans mit 2 graphischen Merkmalen für die LinienvARIABLE.](#))

Potentielle Fragestellungen zur empirischen Prüfung

Es bieten sich mehrere empirische Fragestellungen an, die nähere Klarheit über die Verbesserung von Gestaltungsmerkmalen graphischer Präsentationen erbringen könnten. Dabei wären solche Prüfungen sowohl pragmatisch orientiert, wie theoretisch motiviert. Auch wenn es den Anschein hat, damit sehr spezielle Fragen anzugehen, so wäre eine Prüfung doch insofern von Interesse, als hierbei eben Fragen eines relativ hohen Anspruchsniveaus an die Interpretation von Daten gestellt werden:

Mit Hilfe einer graphischen Präsentation soll der Leser z.B. eine Reihe von sinnvollen Vergleichen durchführen können, die erheblich zum Verständnis der Befunde beitragen und über die Beziehung einzelner Daten hinausgehen. Dazu gehörten etwa die Fragen.

Welcher Faktor erzielt insgesamt (im Mittelwert) den höchsten Wert B oder C ?

Unterscheiden sich die Stufen von A (hat Faktor A einen Effekt) ?

Unterscheiden sich die Stufen von B (hat Faktor B einen Effekt) ?

Unterscheiden sich die Stufen von C (hat Faktor C einen Effekt) ?

Liegt eine Wechselwirkung zwischen A und B , A und C, B und C, vor ?

Liegt eine Wechselwirkung $A \times B \times C$ vor ?

Von welcher Art sind die Wechselwirkungen (ordinal, disordinal) ?

Was besagen die Wechselwirkungen inhaltlich ?

Zur Veranschaulichung von Interaktionen im vollständig überkreuzten 3 faktoriellen Fall werden häufig mehrere superpositionierte Liniendiagramme verwendet. Zur Darstellung der Interaktion zweiter Ordnung ($A \times B \times C$) ist diese Graphform quasi Standard. Ist eine Verteilung der Linien auf mehrere superpositionierte Graphen günstiger als ein umfassendes superpositioniertes Liniendiagramm, um alle möglichen Interaktionen und Haupteffekte zu erkennen?

Hinsichtlich der Präsentationsgestaltung steht die Prüfung der Hypothese im Raum, ob die Linienkombination "Farbe und Muster" anderen ebenfalls sinnvollen, aber als suboptimal eingeschätzten Kombinationen (z. B. Farbe und Liniendicke) an den Stellen tatsächlich überlegen ist, wo sich die mangelnde Assoziativität auch auswirken könnte.

Da bereits die Erstellung eines halbwegs repräsentativen Reizmaterials ungeheuer aufwendig wäre, es erheblicher Schulung bedurfte, potentielle Vpn zunächst einmal zum prinzipiellen Erkennen der geforderten Beziehungen auf Mastery Niveau zu bewegen und ein solider Versuchsaufbau letztlich von mir nicht in einer zumutbaren Zeit erstellt und durchgezogen werden kann, verzichte ich auf eine empirische Überprüfung.

Zusammenfassender Schluss

Damit eine graphische Darstellung von Daten ihren Zweck auch erfüllt, sollten dem Leser einsichtige Orientierungs- und Gruppierungshilfen angeboten werden, die von der Wahrnehmung besonders gut unterstützt werden. Zum einen kann so die kognitive Belastung in Grenzen gehalten werden, zum anderen werden anspruchsvollere Vergleiche auf Gruppen -und Gesamtebene, möglicherweise sogar solche Vergleiche angeregt, die man ansonsten gar nicht in Erwägung gezogen hätte. Die Auswahl und Gestaltung der visuellen Variablen

haben damit vornehmlich die Funktion, die Aufmerksamkeit darauf zu lenken, die wesentlichen Beziehungen zwischen den Daten schnell, zuverlässig und relativ umfassend zu erkennen, was insbesondere bei mehrfaktoriellen Versuchsplänen das Verständnis für die Ergebnisse erheblich fördern kann. Wenn keine wesentlichen Beziehungen in den Daten vorhanden sind, d.h. keine klaren Effekte entdeckt wurden, kann man sich meist die Mühe ersparen, dem Leser das "Nichts" als etwas besonders Bedeutsames zu veranschaulichen.

Es wurde hier generell die Empfehlung gegeben, mehrfaktorielle Ergebnisse in einem Liniendiagramm darzustellen. Mit Hilfe des superpositionierten Liniendiagramms lassen sich die meisten Fragen im Mittel am besten beantworten, sofern die Komplexität der Darstellung keine Wahrnehmungsprobleme verursacht, die den Leser überfordern. Ab einer bestimmten Komplexität muss ein allumfassendes superpositioniertes Liniendiagramm auf mehrere superpositionierte Liniendiagramme aufgeteilt werden. Hierbei sollte die Art der Aufteilung der Linien zu den einzelnen Diagrammen einsichtig begründet sein (siehe z. B. Kosslyn 1994, S.194 ff).

Es wurde das sehr wichtige Problem angesprochen, darüber nachzudenken, wie man die möglichen unabhängigen Variablen letztlich in der superpositionierten Graphik anordnet, insbesondere, welche der UV-Variablen auf der Abszisse liegen soll. Neben allgemeinen Empfehlungen, etwa die "Intervallskalierte UV mit den meisten Stufen auf die Abszisse!" spielt hier auch die vom Graphdesigner durch die Graphik intendierte Botschaft an den Leser eine entscheidende Rolle.

Grundsätzlich wurde die Farbe als effektive Variable zur Unterscheidung von Linien angesehen. Das Problem der Farbenblindheit (-ca. 8% der männlichen Bevölkerung sind farbenblind-) wurde dabei ausgeklammert (siehe Green (1999b) [Kap. 4](#); zu differenzierbaren Farben bei Farbenblindheit siehe Brewer(1999)). Manchmal ist die Farbe nicht notwendig. Farbe (hue) allein genügt auch nicht, wenn man die Ordinalrelation zwischen den Stufen der LinienvARIABLE verdeutlichen will. Spätestens dann, wenn eine Linie die Kombination aus 2 Faktoren visuell repräsentieren soll, ist kaum mit einer spontanen Wahrnehmung zu rechnen, da man die Bedeutung dieser visuellen Variablen erst ergründen und einen gewissen mentalen Aufwand zur Aufmerksamkeitsfokussierung betreiben muss, was für Visualisierungszwecke meistens unbefriedigend bleibt. Es kommt darauf an, durch entsprechende Gestaltung die Bedeutung der visuellen Variablen schnell zu vermitteln, um die Geduld des Lesers nicht zu strapazieren. Hier wäre eine entsprechende Standardisierung hilfreich.

Aus der Fülle der Möglichkeiten, Faktorkombinationen visuell darzustellen, wurde in Anlehnung an Bertin die Kombination aus Farbe und Muster für besonders förderlich angesehen, weil sowohl Farbe als auch Muster in linienhafter Implantation assoziativ und selektiv sind. Die Realisierung einer entsprechenden Linie ist allerdings in den mir bekannten Chartprogrammen nicht verfügbar. Zur Zeit relativ problemlos konstruierbar sind Linienkombinationen aus Farbe und Liniendicke bzw. Farbe (hue) und Linienhelligkeit (brightness). Dabei sollte man beachten, was getan werden kann, um die Dominanz bestimmter Ausprägungen (die mangelnde Assoziativität) einzugrenzen. Ich

bin mir nicht sicher, ob sonstige, über Bertin (1974) hinausgehende, visuelle Variablen, welche den Einsatz des Computers notwendig machen würden (z. B. Motion, Flicker, Disparity siehe Green (1999, Kap. 5), zur Darstellung von Liniendiagrammen entscheidende Vorteile bringen, lasse mich aber gerne von einigen konkreten Beispielen überzeugen.

Die Ausführungen versuchten Vorschläge zu unterbreiten, welches Graphformat in welcher Graphanordnung im Verbund mit welchen visuellen Merkmalen besonders geeignet erscheint, möglichst viele Fragen, die man an einen mehrfaktoriellen Versuchsplan stellen mag, mit relativ sparsamen Mitteln visuell gut beantworten zu können. Wenngleich dieser eher generelle Ansatz im Sinne einer durchschnittlich besten Präsentation in mancher Hinsicht Vorteile verspricht, werden etliche komplexe Versuchspläne durchgeführt, um lediglich eine oder wenige zentrale Hypothesen zu prüfen. Dann dürfte es durchaus Sinn machen, eine graphische Darstellung zu wählen, welche nur die entscheidenden Effekte auch besonders gut visuell herausstellt. Wenn etwa in einem 3 faktoriellen Versuchsplan nur die Wechselwirkung $A \times B \times C$ hypothesenrelevant ist, dann könnte man eine Präsentation wählen, welche nur diese Wechselwirkung eben auf einen Blick aufzeigt und dann wäre vermutlich eine Kombination aus Superposition und Juxtaposition am effektivsten. Die Beschränkung auf eine Präsentation, wie hier aus Gründen der Sparsamkeit mehrmals verteidigt, wird natürlich entkräftet, wenn es gelingt, dieselben Daten in mehreren Graphiken so darzustellen, dass diese aus verschiedenen Blickwinkeln wichtige Relationen aufzeigten, die man ansonsten schwer oder gar nicht entdecken würde (siehe dazu z.B. Cleveland 1985, S. 93 ff). Für die neuen Medien bietet sich die Entwicklung eines entsprechenden Graphiktools an, mit dessen Hilfe man interaktiv die Datensätze in bestimmte Graphanordnungen überführen könnte (z.B.: Option: Zeige jetzt die Interaktion $A \times B$ an!)

Diese Arbeit befasste sich mit Vorschlägen zu einer möglichst optimalen Gestaltung von Präsentationen. So wichtig scheint mir dies aber gar nicht zu sein. Für die Praxis wäre vermutlich weit mehr gewonnen, wenn man Graphdesigner dazu veranlassen könnte, keine groben Fehler zu machen und den Blick mehr auf das Verständnis der Daten als auf mediale Effekte zu richten. *Graphical elegance cannot be found in complexity of design and simplicity of data.* In diesem Zusammenhang gehören zu den wichtigsten Ratschlägen,

1. Ergebnisse überhaupt nur dann darzustellen, wenn man von ihrer Zuverlässigkeit und Aussagekraft hinreichend überzeugt ist,
2. Daten nur dann graphisch zu präsentieren, wenn die graphische Darstellung einer Tabelle deutlich überlegen ist (siehe dazu: [Jacobs 1999](#)),
3. die einzelnen Bestandteile der Graphik so zu bezeichnen, dass eine sehr schnelle Zuordnung von visueller Darstellung zu ihrer Bedeutung vollzogen werden kann,
4. es durch die Graphik gelingt, die wesentlichen Beziehungen zwischen den Daten transparent und unverfälscht zu verdeutlichen.

Literatur

Bertin, J. (1974). Graphische Semiologie ((übersetzt von G. Jensch, D. Schade, W. Scharfe). Berlin: Walter de Gruyter.

- Brewer, C.A. (1999) [Color Use Guidelines for Data Representation](http://www.essc.psu.edu/~cbrewer/ColorSch/ASApaper.html)
URL: <http://www.essc.psu.edu/~cbrewer/ColorSch/ASApaper.html> [28.9.2000]
- Cleveland, W. S. (1985). The Elements of Graphing Data. Monterey, California: Wadsworth advanced Books and Software.
- Cooper, G. (1998) [Research into Cognitive Load Theory and Instructional Design at UNSW](http://www.arts.unsw.edu.au/education/CLT_NET_Aug_97.HTML). URL: http://www.arts.unsw.edu.au/education/CLT_NET_Aug_97.HTML [19.8.2000]
- Gediga, G. (ohne Datum) [Grafische Darstellung statistischer Daten](http://www.psych.uni-osnabrueck.de/ggediga/www/pm98/pages/grafik.htm)
URL: <http://www.psych.uni-osnabrueck.de/ggediga/www/pm98/pages/grafik.htm> [14.9.2000]
- Gillan, D. J., Wickens, C. D., Hollands, J. G., & Carswell, C. M. (1998). Guidelines for presenting quantitative data in HFES publications. Human Factors, 40, 28-41.
- Green, M. (1999). [Toward a Perceptual Science of Multidimensional Data Visualization: Bertin and Beyond](http://www.ergogero.com/dataviz/dviz0.html).
URL: <http://www.ergogero.com/dataviz/dviz0.html> [12.9.2000]
- Green, M. (1999b). [Basic Color & Design SBFAQ](http://www.ergogero.com/FAQ/cfaqhome.html)
URL: <http://www.ergogero.com/FAQ/cfaqhome.html> [12.9.2000]
- Jacobs, B. (1995). [Experimentelle Analysen zur graphischen Präsentation von Daten in Liniendiagramm und Säulendiagramm unter Superposition und Juxtaposition](http://www.phil.uni-sb.de/~jakobs/wwwartikel/tablgraf/index.htm).
URL: <http://www.phil.uni-sb.de/~jakobs/wwwartikel/tablgraf/index.htm>
- Jacobs, B. (1999). [Tabelle oder Graphik - Was ist besser ?](http://www.phil.uni-sb.de/~jakobs/wwwartikel/tablgraf/index.htm)
URL: <http://www.phil.uni-sb.de/~jakobs/wwwartikel/tablgraf/index.htm>
- Kosslyn, St. M. (1994). Elements of Graph Design. New York: W.H. Freeman and Company.
- Lohse, G. L. (1993). Eye Movement-Based Analyses of Graphs and Tables: The next Generation. Proceedings of the Fourteenth International Conference on Information Systems. Orlando, FL. 213-224.
- Milroy, R. & Poulton E.C. (1978). Labelling Graphs for Improved Reading Speed. Ergonomics, 21, 55-61.
- Rinck, M. (1989). Die Strukturierung von Wissen durch statistische Graphen. Marburg: Dissertation.
- Schutz, H. G. (1961a). An evaluation of formats for graphic trend displays- Experiment II. Human Factors, 3, 99-107.
- Schutz. (1961b). An Evaluation of Methods for Presentation of Graphik Multiple Trends - Experiment III. Human Factors, 3, 108-119.
- Shah, P. & Carpenter, P.A. (1995). Conceptual limitations in comprehending line graphs. Journal of Experimental Psychology: General. Vol. 124, No. 1, 43-61
- Stockburger, D.W. Three factor anova
URL: <http://www.psychstat.smsu.edu/multibook/mlt11m.html> [10.8.2000]
- Travis, D. (1991). Effective color displays: Theory and Practice. New York: Academic Press.
- Tremmel, L. (1992). Untersuchungen zu optimalen Symbolen bei graphischen Darstellungen. Verlag Dr. Kovac, Hamburg.
- Tufte, E. R. (1993). The visual Display of Quantitative Information. Graphics Press. Cheshire, Connecticut.

Anhang:

Nachfolgende URL's verweisen auf html-Seiten, welche zu dem vorliegenden Dokument gehören und nur aus pragmatischen Erwägungen ausgliedert wurden:

- [einige Prinzipien und Beispiele für die graphische Gestaltung der Ergebnisse aus zweifaktoriellen Versuchsplänen](#).
- [Beispiele für graphische Datenpräsentation eines dreifaktoriellen Versuchsplans mit 2 graphischen Merkmalen für die Linienvariable](#)