

Generierung natürlichsprachlicher Beschreibungen für Sparklines

Johannes Nanninga¹, Kai Willenborg², Martin Schrepp²

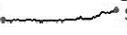
Universität Duisburg-Essen¹
SAP AG²

Zusammenfassung

In Business-Software kommen verschiedenste Arten von Diagrammen zum Einsatz. Eine relativ neue Entwicklung sind Sparklines (dt.: Wortgrafiken). Sparklines sind kleine Liniendiagramme ohne Skala, die innerhalb eines Fließtextes oder einer Tabellenzelle angezeigt werden können. Sie geben dem Benutzer einen groben Überblick über einen Trend, z.B. die zeitliche Entwicklung eines Aktienkurses. Damit Sparklines auch für blinde Nutzer zugänglich werden, wurde ein Verfahren zur Beschreibung von Sparklines in natürlicher Sprache entwickelt. Dieses Verfahren wurde sowohl mit Sehenden als auch mit Blinden evaluiert. Beide Evaluationen zeigen, dass das Verfahren geeignet ist, den in einer Sparkline visualisierten Trend geeignet zu beschreiben.

1 Einleitung

Diagramme aller Art sind heute in visuellen Medien selbstverständlich, z.B. Aktienkurse in Börsennachrichten. Die Vorteile der grafischen Darstellung von Daten gegenüber Text und Tabellen liegt in der menschlichen Informationsverarbeitung begründet (Kosslyn, 1985). Zum Beispiel kann ein Unterschied in der Höhe zweier Balken eines Balkendiagramms unwillkürlich und unmittelbar wahrgenommen werden, während der Vergleich der entsprechenden Zahlenwerte kognitiven Aufwand erfordert.

Eine spezielle Art der graphischen Visualisierung sind Sparklines (Tufté, 2006). Sparklines sind kleine Liniendiagramme ohne sichtbare Skala, die einen Eindruck über den Trend einer Kennzahl vermitteln sollen. Ihre Größe richtet sich an der Zeilenhöhe aus, so dass sie in einer Tabellenzelle oder im Fließtext verwendet werden können. Häufig findet man sie in Business-Software (Groß & Schubert, 2009), wo sie die zeitliche Entwicklung von Kennzahlen (Gewinn, Ausgaben, Umsatz, etc.) anzeigen. Ein Beispiel eines Aktienkurses  soll ihre Anwendung im Fließtext verdeutlichen. Sparklines erlauben einen sehr schnellen Überblick über einen Trend bei geringem Platzverbrauch (die oben gezeigte Sparkline enthält 100 Datenpunkte).

Blinde verfügen ebenso wie Sehende über die Fähigkeit, Bilder in ihrer Vorstellung zu generieren und zu benutzen (Hatwell, 1993). Auch einfache fühlbare Zeichnungen können sie erkennen. Bei bestimmten Aufgaben aktiviert die bildliche Vorstellung bei Blinden die gleichen Gehirnregionen wie bei Sehenden (De Volde et al., 2004). Je nach Zeitpunkt der Erblindung entwickelt sich die visuelle Vorstellungsfähigkeit bei Blinden unterschiedlich (Hatwell, 1993). Spät Erblindete nutzen eher eine visuo-spatiale Strategie, um sich Objekte bildlich vorzustellen. Dabei wird das Objekt im Ganzen als Bild abgespeichert. Von Geburt an Blinde nutzen eher andere Strategien, z. B. die verbale Strategie (Picard, et al., 2010). Hierbei nutzen sie beschreibende Wörter, um die räumliche Information zu kodieren.

Wie jede Art von Datenvisualisierung sind Sparklines für Blinde ohne spezielle Technologien (z.B. Screen-Reader) nutzlos. Die in dieser Arbeit vorgestellte Methode soll blinden Benutzern von Business-Software Sparklines zumindest teilweise zugänglich machen. Durch eine kurze Beschreibung des Kurvenverlaufs soll ihnen die Möglichkeit gegeben werden, sich einen groben Überblick über den Trend der dargestellten Kennzahl zu verschaffen. In der Beschreibung soll auf die Angabe von Zahlenwerten verzichtet werden und stattdessen der Kurvenverlauf möglichst so beschrieben werden, wie ihn auch ein Mensch beschreiben würde (Sparklines werden in der Regel aus Daten generiert, d.h. die Beschreibung muss anhand des Kurvenverlaufs automatisch erzeugt werden). Technisch kann die Beschreibung der Sparkline als Tooltip der Grafik zur Verfügung gestellt und damit z.B. über den Screen-Reader vorgelesen werden.

Blinde Nutzer sollen damit in die Lage versetzt werden, alle in einer betriebswirtschaftlichen Anwendung zur Verfügung stehenden Informationen zu verwenden (zeitliche Verläufe von Kennzahlen sind z.B. in Finanzanwendungen von zentraler Bedeutung). Dies ist für die erfolgreiche berufliche Integration blinder Personen in vielen Bereichen von Bedeutung.

2 Übersicht bereits vorhandener Ansätze

Es existieren bereits eine Reihe von Methoden, um Diagramme für Blinde zugänglich zu machen. Viele davon verwenden Töne, die die dargestellten Diagramme "nachzeichnen" (Brown & Brewster, 2003) oder benutzen ein haptisches Interface, auf dem das Diagramm fühlbar gemacht wird (z.B. Ina, 1996). Auch eine Kombination der beiden Modalitäten ist möglich, wie z.B. im System Audiograf (Kennel, 1996). Für Sparklines in Web-Seiten oder betriebswirtschaftlichen Anwendungen sind solche Verfahren weniger geeignet. Die in der Sparkline enthaltenen Informationen sollten blinden Benutzern hier innerhalb ihrer normalen Interaktion über einen Screen-Reader oder eine Braille-Zeile zugänglich sein.

Ein anderer Ansatz ist die Generierung einer Beschreibung für ein Diagramm, wie z.B. im von Mittal et al. (1998) entwickelten SAGE-System. SAGE ist allerdings darauf optimiert Sehenden im Diagramm enthaltene Elemente und deren Zusammenhang näherzubringen.

Die Programme iGraph (Ferres, et al., 2006) und iGraph Lite (Ferres, et al., 2007) erlauben blinden Nutzern Diagramme zu inspizieren (*iGraph* steht für *inspectGraph*), indem sie Fragen in natürlicher Sprache an das System richten. Darüber hinaus generiert iGraph Beschrei-

bungen von Diagrammen. Insgesamt ist iGraph darauf ausgelegt, sehr komplexe Diagramme zugänglich zu machen. Entsprechend lang und detailliert sind auch die generierten Beschreibungen, die auch Zahlenangaben auf der X- und Y-Achse enthalten. Für Sparklines sind diese Beschreibungen zu ausführlich. iGraph erfordert die Installation von Spezial-Software auf der Seite des Autors des Diagramms und auch auf Nutzerseite und ist auf mit Excel erstellte Diagramme beschränkt.

Elzer et al. (2007) stellten mit SIGHT (Summarizing Information Graphics Textually) ein System vor, welches die intendierte Botschaft einer Informationsgrafik herausfinden und zusammenzufassen soll. SIGHT ist eine Browser-Erweiterung, die per Tastaturkürzel immer dann gestartet werden kann, wenn ein Diagramm auf einer Webseite vorkommt. Die Intention des Autors wird mit einem Bayesschen Netz aus der Grafik gefolgert. Da SIGHT sich auf die vom Autor intendierte Botschaft des Diagramms konzentriert, ist es für intentionslose Grafiken wie Sparklines ungeeignet.

3 Eine Voruntersuchung

Um herauszufinden, auf welche Weise Menschen eine Sparkline verbal beschreiben, wurde eine explorative Voruntersuchung durchgeführt. Die Teilnehmer wurden im Gebäude der SAP AG angesprochen und gebeten, je nach verfügbarer Zeit, eine oder mehrere Sparklines zu beschreiben. Die Sparklines waren dabei auf einem Blatt gedruckt und der Teilnehmer konnte seine Beschreibung des Trends direkt neben der Sparkline notieren. Auf diese Weise wurden 103 Beschreibungen zu 29 verschiedenen Kurvenverläufen gesammelt.

Die Ergebnisse des Tests offenbarten deutliche interindividuelle Unterschiede bei der Beschreibung der Kurvenverläufe. Sie variierten stark in der Länge. Im Schnitt enthalten sie 7,1 Wörter, mehr als die Hälfte bestehen aber aus nur 6 oder weniger Wörtern.

Eine detaillierte Analyse der Beschreibungen zeigte, dass in fast 70% der Fälle die Steigung eines Abschnitts der Kurve oder der Gesamtkurve beschrieben wurde (z. B. *fallend*). In über 45% der Fälle wurde die Intensität der Schwankung genannt (z. B. *stark*). Angaben über die Schwankung selbst kamen in fast 36% der Beschreibungen vor, während etwa 25% eine Aussage über einen Zeitrahmen enthielten, z. B. *vorübergehend* oder *kontinuierlich*. In 22% der Beschreibungen wurde die Kurve in Abschnitte aufgeteilt, die nacheinander beschrieben wurden und weitere 20% machten Angaben zur horizontalen Position des gerade beschriebenen Abschnitts (z.B. *am Anfang* oder *in der Mitte*) innerhalb der Gesamtkurve. Über 12% verwenden bildhafte Beschreibungen (z.B. *hat die Form des Buchstaben M*).

Aufgrund dieser Daten wurde entschieden, dass die generierten Beschreibungen der Sparklines folgende Informationen enthalten sollten:

- Die Kurve soll in Abschnitte eingeteilt werden, die nacheinander mit Angaben zu ihrer Position und relativen Länge beschrieben werden.
- Für jeden Abschnitt sollen Art und Intensität der Steigung beschrieben werden.

- Die Beschreibung soll Informationen zur Schwankung der Kurve enthalten.
- Spitzen und Täler sollen erkannt und als solche bezeichnet werden.
- Damit die Beschreibungen in Seiten mit mehreren Sparklines noch handhabbar sind (sie werden ja ggfs. vom Screen-Reader gelesen, sobald der Nutzer den Fokus auf eine Sparkline setzt), müssen diese kurz und prägnant sein.

4 Algorithmus

Die Erzeugung einer Beschreibung aus einer Sparkline zerfällt in drei Schritte:

- Unterteilung der Sparkline in Segmente
- Beschreibungen für die einzelnen Segmente erstellen
- Beschreibungen der Segmente zu sinnvollem Gesamttext zusammenfügen

4.1 Unterteilung der Sparkline in Segmente

Die Unterteilung der Sparkline in Segmente basiert auf einer Zeitreihenanalyse der Daten, die versucht geeignete Segmente durch die Analyse von Richtungsänderungen der Grafik zu identifizieren. Als numerisches Analyseverfahren wird die Stückweise Lineare Annäherung (Piecewise Linear Approximation, PLA) verwendet, da diese die Kurve gleichzeitig vereinfacht und segmentiert.

Für die Beschreibung des Verfahrens verwenden wir folgende Konventionen:

- $(x_0, y_0), \dots, (x_n, y_n)$ bezeichnen die Datenpunkte der Sparkline.
- Ein Segment $S = \{ (x_i, y_i), \dots, (x_j, y_j) \}$ ist eine zusammenhängende Menge von Datenpunkten.

Das Verfahren arbeitet rekursiv. Das Startsegment ist $S_0 = \{ (x_0, y_0), (x_1, y_1) \}$, d.h. die ersten beiden Punkte der Sparkline.

Für das aktuelle Segment $S_x = \{ (x_i, y_i), \dots, (x_j, y_j) \}$ wird folgendes Verfahren durchgeführt:

1. Die Regressionsgerade der Punkte $(x_i, y_i), \dots, (x_j, y_j)$ wird berechnet.
2. Es wird geprüft, ob alle Punkte $(x_i, y_i), \dots, (x_j, y_j)$ innerhalb eines Korridors der Breite b um die Regressionsgerade liegen. Ist dies der Fall, so wird das aktuelle Segment S_x um den Punkt (x_{j+1}, y_{j+1}) erweitert und wieder bei Schritt 1 begonnen. Ist dies nicht der Fall, wird Segment S_x abgeschlossen. Das aktuelle Segment wird durch $S_{x+1} = \{ (x_{i+1}, y_{i+1}), (x_{i+2}, y_{i+2}) \}$ ersetzt und mit diesem wieder bei Schritt 1 begonnen.

Das Verfahren endet, sobald der letzte Punkt der Sparkline in einem Segment aufgenommen wurde. Am Ende des Verfahrens ist die Sparkline also in eine Sequenz $S_0, \dots, S_t$ von disjunkten Segmenten zerlegt.



Abbildung 1: Sparkline, die in vier Segmente zerlegt wurde. Angezeigt wird die Sparkline, die Regressionsgerade pro Segment und der Korridor der Breite b um die Regressionsgerade.

Die entscheidende Variable während der Signalanalyse ist die Breite des Korridors b . Sie hat neben der Form der Kurve als einziges einen Einfluss auf die Segmentierung.

Die ermittelten Segmente werden jetzt noch einmal analysiert und es wird versucht, die Zahl dieser Segmente zu reduzieren, um eine möglichst prägnante Beschreibung zu erzeugen:

- Kurze Segmente, die folglich nur wenig zur Beschreibung beitragen, werden mit ihren linken Nachbarn vereint.
- Benachbarte Segmente mit ähnlicher Steigung werden vereint.
- Spitzen werden erkannt. Wenn von zwei benachbarten Segmenten das erste steigt und das zweite fällt oder umgekehrt und die Steigungswinkel einen Schwellenwert überschreiten, werden die Segmente vereint und als Spitze oder Tal deklariert.

Ab wann ein Segment als kurz erkannt wird, welche Steigungen als ähnlich identifiziert werden und die Schwellenwerte für die Erkennung von Spitzen, können über Parameter eingestellt werden. Dies gilt auch für die im Verfahren verwendete Breite des Korridors b .

4.2 Beschreibungen für die einzelnen Segmente erstellen

Die Beschreibung eines Segments (z.B. *ab der Mitte sehr lange leicht fallend*) kann bis zu vier Informationseinheiten enthalten. Dies sind die Position des Segments innerhalb der Sparkline, die relative Länge des Segments, die Richtung der Steigung und deren Stärke.

Die Beschreibung der Steigung orientiert sich an der Steigung der entsprechenden Regressionsgeraden. Über einen Parameter kann eingestellt werden, ab welcher Steigung das Segment als *steigend* oder *fallend* beschrieben wird und ab welcher Steigung die Adverbien *leicht* bzw. *stark* hinzugefügt werden. Ein weiterer Parameter erlaubt einzustellen, ab welchem Verhältnis zur Gesamtlänge ein Segment als *kurz*, *lang*, *sehr kurz* oder *sehr lang* beschrieben wird.

4.3 Gesamtbeschreibung erstellen

Die Gesamtbeschreibung fügt die Beschreibungen der einzelnen Segmente zu einem korrekten Satz zusammen. Die Länge der Gesamtbeschreibung hängt also vor allem von der Anzahl der beschriebenen Segmente ab. Da die Segmente nur grob beschrieben werden, bedeutet eine große Anzahl an Segmenten nicht eine genauere, sondern eher eine unübersichtliche Beschreibung. Je mehr Segmente beschrieben werden, desto mehr Konzentration erfordert es, sich einen entsprechenden Kurvenverlauf vorzustellen. Auch wegen der Limitationen des menschlichen Kurzzeitgedächtnisses ist eine Beschreibung mit einer großen Zahl von Segmenten eher ungeeignet.

Über einen Parameter kann eingestellt werden, ab welcher Anzahl von Segmenten auf die Beschreibung der einzelnen Segmente ganz verzichtet wird und stattdessen nur der Gesamtrend der Sparkline verwendet wird (z.B. „Insgesamt leicht steigend“). In Vorversuchen zeigte sich, dass Beschreibungen mit mehr als 5 einzeln beschriebenen Segmenten vermieden werden sollten.

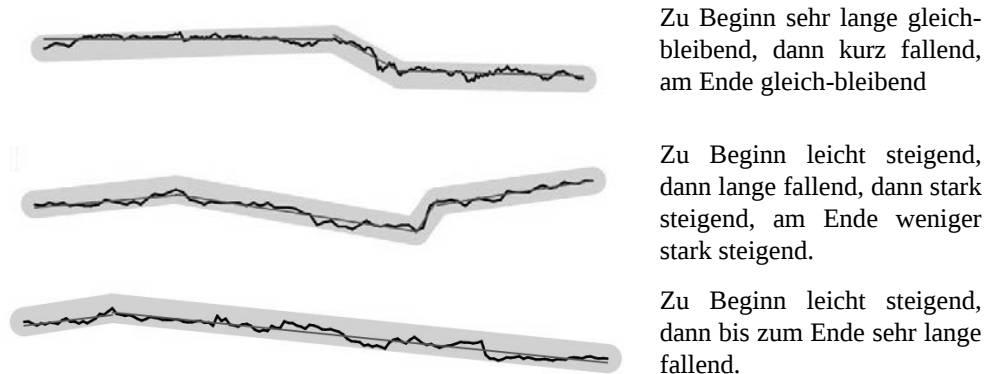


Tabelle 1: Drei Beispiele für die aus dem Verfahren generierten Beschreibungen.

5 Evaluation des Verfahrens

Um zu prüfen, ob die generierten Texte den Kurvenverlauf adäquat wiedergeben, wurde das Verfahren mit sehenden und mit blinden Nutzern evaluiert. Für die Validierungen wurden die freien Parameter des Verfahrens (z.B. Korridorbreite, maximale Zahl von Segmenten, Schwellenwerte für Steigungswinkel, etc.) in Vorversuchen auf geeignete Werte eingestellt.

5.1 Evaluation mit sehenden Nutzern

In einem Online-Fragebogen wurden Aktienkurse in Form von Sparklines vorgegeben.

5.1.1 Teilnehmer

40 Personen (19 männlich, 21 weiblich) im Alter von 21 bis 33 Jahren (Durchschnitt 26 Jahre) nahmen an der Studie teil.

5.1.2 Ablauf der Studie

In der ersten Phase wurden jedem Teilnehmer zu 20 Sparklines (die reale Aktienkurse repräsentierten) jeweils 7 Beschreibungen angezeigt. Eine der sieben Beschreibungen war aus der dargestellten Sparkline erstellt worden, während die anderen aus zufällig ausgewählten Kursen erzeugt wurden. Aufgabe des Teilnehmers war es, die am besten passende Beschreibung aus den 7 Alternativen auszuwählen.

Die Reihenfolge der Antwortmöglichkeiten wurde pro Teilnehmer randomisiert. Um eine größere Anzahl unterschiedlicher Kurven zu testen, wurden 4 Gruppen mit jeweils 20 zufällig ausgewählten Aktienkursen verwendet. Jedem Teilnehmer wurde zufällig eine dieser Gruppen zugeordnet. Insgesamt nahmen die 40 Teilnehmer also 800 Zuordnungen vor.

In der zweiten Phase wurden den Teilnehmern zehn zufällig ausgewählte Aktienkurse zusammen mit der generierten Beschreibung vorgelegt. Die Teilnehmer wurden gebeten, die Qualität jeder Beschreibung auf einer Skala von 1 bis 7 zu bewerten. Insgesamt wurden hier also 400 Bewertungen vorgenommen.

5.1.3 Ergebnisse

Die Teilnehmer ordneten in 56% der Fälle die richtige Beschreibung zu. Die übrigen 43% verteilen sich auf sechs mögliche, falsche Zuordnungen. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass auch die sechs aus zufälligen Aktienkursen generierten Beschreibungen durchaus zur gezeigten Kurve passen konnten (falls einer der zufällig gewählten Kurse einen ähnlichen Kursverlauf zeigte). Diese Ergebnisse sind nicht mit dem Zufall zu erklären ($X^2 = 0,001$; $p < 0,05$).

Abbildung 2 zeigt die Verteilung der abgegebenen Bewertungen. Die am häufigsten vergebenen Bewertung war "gut".

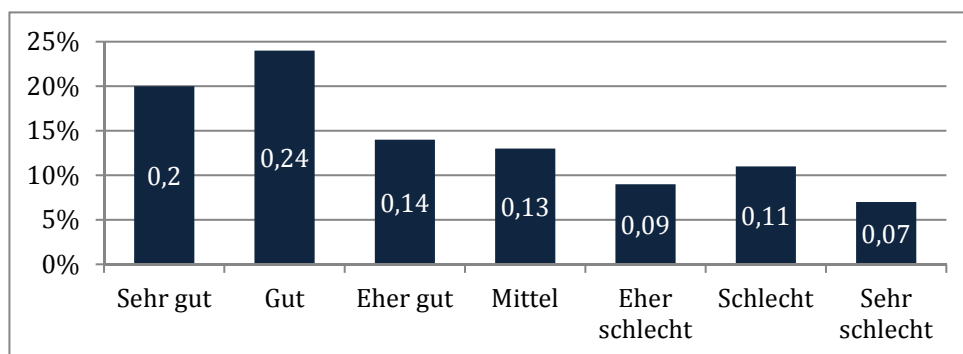


Abbildung 2: Bewertung der generierten Beschreibungen durch die Teilnehmer.

5.2 Evaluation mit blinden Nutzern

Die Evaluation mit blinden Personen ging der Frage nach, ob sich durch die Beschreibung des Kurvenverlaufs bei ihnen überhaupt eine Vorstellung über die Form der Kurve entwickeln kann. Hierzu wurden sechs zufällig ausgewählte Aktienkurse beschrieben und drei blinden Teilnehmern vorgelegt. Diese sollten in durch Kreppband markierten Feldern den Verlauf der Kurve aufzeichnen. Es wurde auch mit Wachstafeln und speziellen Folien für den Mathematikunterricht blinder Kinder experimentiert. Diese wurden jedoch in der Evaluation nicht eingesetzt, da sie in einer Untersuchungssituation umständlich zu handhaben und schwer zu beschaffen sind.

Zeichnen ist für Blinde zwar ungewohnt, aber prinzipiell möglich (Kennedy, 1993). Das Aufzeichnen der Kurve ist dennoch ein Schwachpunkt dieser Evaluationsmethode. Einerseits ist das Konzept einer grafisch dargestellten Zeitreihe blinden Personen in der Regel nicht sehr vertraut – sie werden damit, anders als Sehende, in ihrem täglichen Leben normalerweise nicht konfrontiert. Hinzu kommt, dass der Umgang mit Stift und Papier für sie ungewohnt ist. D.h. die Kurven, die die blinden Teilnehmer aufgemalt haben, können sich von ihrer mentalen Vorstellung der beschriebenen Kurve stark unterscheiden.

Aufgrund der geringen Zahl an Teilnehmern ist es natürlich nicht möglich, die gesammelten Daten statistisch auszuwerten. Deshalb beschränken wir uns auf eine rein qualitative Auswertung über einen Vergleich der gezeichneten Kurve und der Sparkline, aus der die Beschreibung generiert wurde. Abbildung 3 zeigt die von den 3 Teilnehmern gezeichneten Kurven und die zugrundeliegenden Sparklines.

Die meisten der gezeichneten Kurven geben den Verlauf der Sparkline recht gut wieder. Es gibt allerdings auch eine Reihe von starken Abweichungen zwischen gezeichneter Kurve und zugrundeliegender Sparkline. Aufgrund der oben erwähnten Probleme, die Blinde Teilnehmer beim Zeichnen von Kurven haben, ist aber nicht schlüssig zu klären, ob diese Abweichungen aus fehlerhaften Beschreibungen oder aus der ungewohnten Aufgabe des Zeichnens resultieren. Unter Berücksichtigung dieser Effekte ist das Ergebnis der Evaluation aber durchaus vielversprechend.

Bei einer verbalen Befragung nach der Untersuchung äußerten sich alle drei Teilnehmer positiv in Bezug auf das Potential des Verfahrens.

6 Zusammenfassung

Für viele Diagrammarten existieren bereits Programme, die sie für blinde Computer-Nutzer zugänglich machen. Eine speziell auf Sparklines ausgerichtete Lösung gibt es bisher jedoch noch nicht. Die in dieser Arbeit präsentierte Lösung schließt diese Lücke. Sie ermöglicht es Blinden, sich einen schnellen Überblick über den Trend einer Kennzahl, zum Beispiel den eines Aktienkurses, zu verschaffen. Dies wird erreicht, indem die visuelle Darstellung der Sparkline mit einer natürlichsprachlichen Beschreibung ergänzt wird.

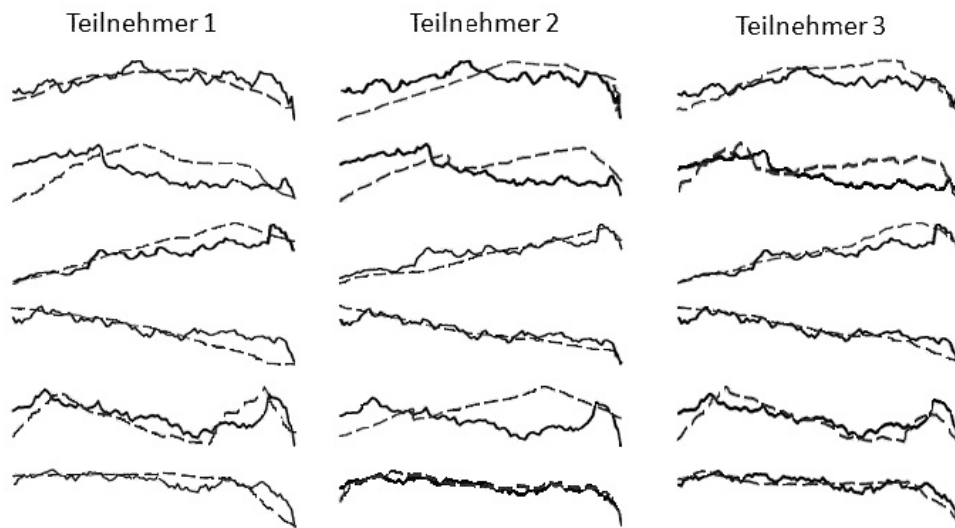


Abbildung 3: Gestrichelte Linien zeigen die von den Teilnehmern gezeichneten Kurven, durchgezogene Linien die Originalkurven. Die gestrichelten Linien wurden in Höhe und Breite den Originalkurven angepasst (da die Sparkline nur den Verlauf der Kurve abbilden soll).

Die Methode wurde erfolgreich evaluiert. Sehende Teilnehmer konnten die zu einer Sparkline passende Beschreibung in den meisten Fällen korrekt zuordnen. Sie bewerteten die Qualität der generierten Beschreibungen als eher gut. Auch blinde Teilnehmer äußerten sich positiv über das Potential des Verfahrens. Sie konnten anhand der Beschreibungen in vielen Fällen einen Kurvenverlauf zeichnen, der dem Original sehr nahe kommt. Dies lässt darauf schließen, dass sie sich die Form der Sparkline anhand der generierten Beschreibungen ausreichend gut vorstellen konnten.

Literaturverzeichnis

- Brown, L. M., & Brewster, S. A. (2003). Drawing by ear: Interpreting sonified line graphs. *Proceedings of the International Conference on Auditory Display*, S. 152-156, Boston.
- Elzer, S., Schwartz, E., Carberry, S., Chester, D., Demir, S. & Wu, P. (2007). A browser extension for providing visually impaired users access to the content of bar charts on the web. *Proceedings of WEBIST'2007*. Barcelona.
- Ferres, L., Parush, A., Li, Z., Oppacher, Y., & Lindgaard, G. (2006). Representing and Querying Line Graphs in Natural Language: the iGraph System. *Proceedings of the 6th International Symposium, SG 2006*, S. 248-253. Vancouver, Canada: Springer.
- Ferres, L., Verkhogliad, P., Lindgaard, G., Boucher, L., Chretien, A., & Lachance, M. (2007). Improving Accessibility to Statistical Graphs: The iGraph-Lite System. *Assets '07 Proceedings of the 9th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility*, S. 67-74.

- Groß, M. & Schubert, U. (2009). Visualisierung von Geschäftszahlen in Business-Software. In: Brau, H., Diefenbach, S., Hassenzahl, M., Kohler, K., Koller, F., Peissner, M., Petrovic, K., Thielsch, M., Ullrich, D. & Zimmermann, D. (Hrsg.) *Usability Professionals 2009*, S. 156 -162, Fraunhofer Verlag.
- Hatwell, Y. (1993). Images and non-visual spatial representations in the blind. In D. Burger, & J. C. Sperandio (Hrsg.), *Non-Visual Human-Computer Interactions*, 228, S. 13-35.
- Ina, S. (1996). Computer graphics for the blind. *ACM SIGCAPH Computers and the Physically Handicapped* (55), 16-23.
- Kennedy, J. M. (1993). *Drawing & the blind: Pictures to touch*. New Haven: Yale University Press.
- Kennel, A. R. (1996). Audiograf: A Diagram-Reader for the Blind. *Assets '96 Proceedings of the second annual ACM conference on Assistive technologies*, S. 51-56. ACM New York, NY, USA.
- Kosslyn, S. M. (1985). Graphics and human information processing: a review of five books. *Journal of the American Statistical Association*, 80, S. 499-512.
- Mittal, V., Moore, J., Carenini, G., & Roth, S. F. (1998). Describing Complex Charts in Natural Language: A Caption Generation System. *Computational Linguistics, Special issue on Natural Language Generation*, 24 (1), S. 431-467.
- Picard, D., Lebaz, S., Jouffrais, C., & Monnier, C. (2010). Haptic recognition of two-dimensional raised-line patterns by early-blind, late-blind, and blindfolded sighted adults. *Perception*, 39 (2), 224-235.
- Tufte, E. (2006). *Beautiful Evidence*. Cheshire: Graphics PR.
- De Volde, A. G., Toyama, H., Kimura, Y., Kiyosawa, M., Nakano, H. & Vanlierde, A. (2004). Auditory Triggered Mental Imagery of Shape Involves Visual Association Areas in Early Blind Humans. *NeuroImage*, 14, 129-139.

Kontaktinformationen

Johannes Nanninga: johannes.nanninga@stud.uni-due.de, Kai Willenborg: kai.willenborg@sap.com , Martin Schrepp: martin.schrepp@sap.com