

Technische Universität Dresden

Fakultät Informatik

Institut für Angewandte Informatik

Professur Mensch-Computer-Interaktion

Masterarbeit

Erzeugung von zugänglichen audio-taktilen Diagrammen

Michael Jobst

geb. in Nürnberg am 30.03.1990

Matrikelnummer: 3703096

Verantwortlicher Hochschullehrer

Prof. Dr. Gerhard Weber

Zweitgutachter

Prof. Dr. Rainer G. Spallek

Inst. Tech. Informatik, Professur VLSI-Entwurfssysteme, Diagnostik und Architektur

Fachbetreuer

Christin Engel, M.Sc.

Dipl.-Medieninf. Jens Bornschein

Eingereicht am 30.05.2017

Abstract

Das Ziel der vorliegenden Masterarbeit war es, das an der TU Dresden entwickelte Programm SVGPlott zu erweitern, um die Erzeugung von zugänglichen audio-taktilen Punkt-, Linien- und Balkendiagrammen zu ermöglichen. Zusätzlich wurden Hilfsmittel, wie Trendlinien und Sortierungsfunktionen, sowie Konzepte zur automatischen Farbkodierung einbezogen. Besonderer Wert wurde darauf gelegt, sowohl die Software als auch die damit erzeugten Diagramme so zu gestalten, dass sie von blinden und sehenden Menschen verwendet werden können. Nach einer Recherche zu den Grundlagen zugänglicher und insbesondere audio-taktiler Diagramme wurde auf Basis vorhandener Gestaltungsrichtlinien das Layout der Diagramme konzipiert. Die Softwarearchitektur von SVGPlott wurde unter Nutzung vorhandener Komponenten neu aufgebaut, um zukünftige Erweiterungen zu unterstützen. In einer Nutzerstudie mit durch SVGPlott generierten Diagrammen konnte gezeigt werden, dass die automatische Erzeugung audio-taktiler Diagramme möglich ist und zu in der Praxis zufriedenstellenden Ergebnissen führt. Der Autor erhofft sich durch diese Arbeit eine zunehmende Verbreitung audio-taktiler Diagramme.

The objective of this master thesis is to extend the software SVGPlott developed at the Dresden University of Technology by the creation of accessible audio-tactile point, line and bar charts. Additionally, auxiliaries like trend lines and sorting functions, as well as concepts for automatic color encoding are included. A special emphasis was placed on the design of both the software and the diagrams in order to make them usable for blind and seeing people. After a research into the foundations of audio-tactile diagrams, the layout of the diagrams was conceptualized based on existing design guidelines. Using its existing components, the software architecture of SVGPlott was redesigned in order to allow future extensions. A user survey about diagrams created with SVGPlott showed that the automatic creation of audio-tactile diagrams is possible and leads to satisfying result in practice. The author expects from this thesis an increased prevalence of audio-tactile diagrams.

Aufgabenstellung Masterarbeit

Name, Vorname: Jobst, Michael
Studiengang: Informatik Master
Matrikelnummer: 3703096

Erzeugung von zugänglichen audio-taktilen Diagrammen

Diagramme erleichtern den Zugang zu komplexen Datensätzen, indem sie diese grafisch aufarbeiten und somit Eigenschaften offenlegen, die ansonsten nur sehr schwer zu entdecken sind. Aus diesem Grund stellen sie ein wichtiges und häufig verwendetes Werkzeug im beruflichen und schulischen Umfeld dar. Lesern, die aufgrund von Einschränkungen diese Visualisierung nicht einfach heranziehen können, bleibt oftmals nur auf eine alternative Beschreibung zu vertrauen – ohne die Möglichkeit der selbständigen Prüfung – oder die Datensätze selbst zu interpretieren. Beides steht dem Grundsatz der Gleichberechtigung beim Zugang zu Informationen entgegen. Gleiches gilt auch für die Erzeugung von Diagrammen.

Ziel dieser Arbeit soll es sein, durch das Erweitern des Programmes SVGPlott die Erzeugung von zugänglichen audio-taktilen SVG Dateien für Diagramme zu ermöglichen:

1. Untersuchung zu den derzeitigen Möglichkeiten zur Diagrammerzeugung für sehende und blinde Benutzer
2. Erweiterung des Programms SVGPlott um Funktionalitäten zur Erzeugung von adaptierbaren, zugänglichen audio-taktilen Punkt-, Linien- und Balkendiagrammen in Anlehnung an MS Excel
3. Modularer Aufbau der Softwarearchitektur zur einfachen Erweiterung um weitere Diagrammtypen (die Software SVGPlott ist dementsprechend anzupassen)
4. Bereitstellung zusätzlicher grafischer Hilfsmittel zur Interpretation von Diagrammen (z.B. Sortierung, Regressionsgerade, Trend)
5. Einbeziehung von Konzepten zur automatischen Farbkodierung in die Diagramme
6. Test der entwickelten Anwendung und Konzepte mit blinden Benutzern

Literatur:

Bornschein, Jens, Denise Prescher, and Gerhard Weber. "SVGPlott-Generating Adaptive and Accessible Audio-Tactile Function Graphs." International Conference on Computers for Handicapped Persons. Springer International Publishing, 2014.

Taras, Christiane. "Darstellungs- und Interaktionstechniken zur effizienten Nutzung grafischer Oberflächen durch Blinde und Sehbehinderte." (2011); Dissertation; Kapitel 3.2.3.

Fachbetreuer:
Verantwortlicher Hochschullehrer:
Institut:

Dipl.-Medieninf. Jens Bornschein
Prof. Dr. Gerhard Weber
Institut für Angewandte Informatik
Prof. Mensch-Computer Interaktion
07.11.2016
17.04.2017 (23 Wochen)

Beginn am:
Einzureichen am:

Unterschrift des verantwortlichen Hochschullehrers

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|------------|
| Abstract | i |
| Aufgabenstellung | ii |
| Inhaltsverzeichnis | iii |
| 1 Einführung | 1 |
| 2 Diagramme für blinde Nutzer | 5 |
| 2.1 Formen der alternativen Darstellung von Diagrammen für blinde Menschen | 6 |
| 2.2 (Audio-)taktile Diagramme | 13 |
| 2.2.1 Herstellungsverfahren taktiler Diagramme | 14 |
| 2.2.2 Erkundung taktiler Diagramme | 15 |
| 2.2.3 Gestaltungsrichtlinien für taktile Diagramme | 17 |
| 2.2.4 Audio-taktile Diagramme | 25 |
| 2.2.5 Erstellung taktiler Diagramme | 26 |
| 3 Konzeption einer Software zum Erstellen audio-taktiler Diagramme | 33 |
| 3.1 Anforderungen an die Software | 33 |
| 3.1.1 Problemszenarien | 34 |
| 3.1.2 Anforderungen aus Sicht der Nutzer | 37 |
| 3.1.3 Technische Anforderungen | 39 |
| 3.2 Grundbestandteile audio-taktiler Diagramme | 44 |
| 3.2.1 Darstellung der Achsen und des Gitters | 45 |
| 3.2.2 Erzeugung von Text und Audio-Labels | 47 |
| 3.2.3 Farben und Muster | 48 |
| 3.2.4 Aufbau der Legende | 51 |
| 3.2.5 Aufbau der Bildbeschreibung | 52 |
| 3.3 Darstellung ausgewählter Diagrammtypen und zusätzlicher Hilfsmittel | 54 |
| 3.3.1 Darstellung von Punktdiagrammen | 54 |
| 3.3.2 Darstellung von Liniendiagrammen | 56 |
| 3.3.3 Darstellung von Balkendiagrammen | 58 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 3.3.4 | Hilfsmittel | 62 |
| 3.4 | Zusammenfassung | 66 |
| 4 | Implementierung | 69 |
| 4.1 | Funktionalität und Bedienung von SVGPlott | 69 |
| 4.1.1 | Verwendung von SVGPlott durch Kommandozeilenparameter | 70 |
| 4.1.2 | Beispielaufrufe und -ausgaben von SVGPlott | 71 |
| 4.2 | Architektur | 74 |
| 4.3 | Eingabeformat | 76 |
| 4.4 | Umsetzung der Anforderungen | 79 |
| 5 | Nutzerstudie zu den erstellten Diagrammen | 83 |
| 5.1 | Methoden und Durchführung | 83 |
| 5.2 | Teilnehmer an der Studie | 84 |
| 5.3 | Auswertung der Ergebnisse | 85 |
| 5.3.1 | Allgemeine Ergebnisse | 85 |
| 5.3.2 | Balkendiagramme | 85 |
| 5.3.3 | Liniendiagramme | 87 |
| 5.3.4 | Punktdiagramme | 88 |
| 5.3.5 | Punktdiagramme mit Trendlinien | 90 |
| 5.3.6 | Abschlussbewertung durch die Teilnehmer der Studie . . . | 92 |
| 5.4 | Zusammenfassung | 93 |
| 6 | Fazit und Ausblick | 95 |
| | Anhang A Fragebogen zur Nutzerstudie | 99 |
| | Anhang B Diagramme zur Nutzerstudie | 117 |
| | Literatur | 131 |
| | Inhaltsverzeichnis der CD-ROM | 137 |
| | Selbständigkeitserklärung | 138 |

1 Einführung

Diagramme sind eine Möglichkeit, komplexe Daten und ihre Relationen zueinander anschaulich und erfassbar darzustellen. Seien es Funktionsgraphen in der Algebra, Schaltpläne in der Elektronik, Gantt-Diagramme im Projektmanagement, Baumdiagramme in der Informatik oder eine der vielfältigen Darstellungsformen von Karten in der Geografie: In den meisten Bereichen der Technik und Wirtschaft ist es üblich und oft auch hilfreich, eine grafische Darstellung von Werten zu nutzen. Aber auch im Alltag tauchen immer wieder Diagramme auf. Wahlergebnisse werden als Tortendiagramme dargestellt, Baupläne werden in Anleitungen vereinfacht als Diagramme abgebildet und Umfragewerte werden in Zeitungen als Balkendiagramme abgedruckt.

Menschen mit einem unbeeinträchtigten Sehsinn können diese Grafiken in kurzer Zeit erfassen und schnell Wissen und wichtige Aussagen zu den dargestellten Daten generieren. Für blinde und sehbehinderte Nutzer sind sie dahingegen nicht zugänglich. Somit sind sie darauf angewiesen, dass der zugehörige Text die Inhalte der Grafik vollständig vermittelt. Bei einfachen Darstellungen ist dies realistisch – werden die Inhalte umfassender, sodass komplexe Zusammenhänge zwischen den Daten erkannt werden müssen, reicht eine Textbeschreibung nicht aus. Eine alternative Darstellung von Diagrammen, die von allen Nutzern erfassbar ist, ist daher erstrebenswert.

Die in dieser Arbeit vertretene Lösung, *taktile Diagramme*, bestehen aus einer dem visuellen Diagramm ähnlich aufgebauten Oberfläche mit Erhebungen und Texturen. Diese wird mit Hilfe des Tastsinns exploriert und kann daher auch Braille-Schrift enthalten. Vorteile dieser Darstellung liegen in dem gegenüber reinen Textbeschreibungen einfacheren Verständnis von Zusammenhängen zwischen den Daten und der Ähnlichkeit zu visuellen Grafiken, welche die Kommunikation zwischen blinden, sehbehinderten und sehenden Menschen erleichtert. Jedoch ist die Erzeugung von taktilen Diagrammen nicht ohne Weiteres möglich.

Visuelle Diagramme können mit gängigen Open-Source-Anwendungen wie LibreOffice¹ oder im wissenschaftlichen Kontext mit L^AT_EX-Paketen wie pgfplots², der Matlab-Alternative GNU Octave³ oder vielen weiteren proprietären und frei-

¹<https://de.libreoffice.org/>

²<http://ctan.org/pkg/pgfplots>

³<https://www.gnu.org/software/octave/>

1 Einführung

en Programmen erzeugt werden. Bereits in der Schule lernen Kinder, solche Diagramme zu interpretieren und zu erstellen. Für die Erstellung von taktilen Diagrammen benötigt man neben spezieller Hardware auch angepasste Software, um die Berücksichtigung der besonderen Gestaltungsprinzipien zu vereinfachen.

Deren gibt es viele: Ein umfangreiches Werk mit Regeln zum Design und zur Herstellung von taktilen Grafiken für blinde Nutzer sind zum Beispiel die von der Braille Authority of North America herausgegebenen *Guidelines and Standards for Tactile Graphics* [Bra10]. Jedoch sind diese Regeln allgemein gehalten und durch die Komplexität des Regelwerks von im Umgang mit taktilen Grafiken unerfahrenen Autoren nicht intuitiv umsetzbar [Bor+15].

Viele dieser Regeln ergeben sich aus der gegenüber dem Sehsinn geringeren Auflösung des menschlichen Tastsinns [Gar02], was sich auch in der Auflösung der Anzeigemedien widerspiegelt [Bor+15]. Daher stellen die Vereinfachung und Vergrößerung der angezeigten Elemente eine nötige Herausforderung dar [Pre+14; Gar02]. Werden zu viele bzw. zu kleine Elemente dargestellt, erschwert dies ihre Interpretation und somit das Verständnis des Diagramms [Pre+14]. Auch die Wahl von eindeutigen Texturen und Linienstilen zur Ersetzung von Farben ist wichtig [Pre+14].

Teile des Diagramms, die in einer visuellen Darstellung genug Platz hätten, können aufgrund der geringen Auflösung nicht immer in der taktilen Version platziert werden und müssen in einer anderen Form vermittelt werden. Daher sollte zum besseren Verständnis jede Grafik mittels einer Beschreibung erklärt werden [Bra10, S.1-3]. Ein weiterer wichtiger Bestandteil einer taktilen Grafik ist eine Legende, die einen Schlüssel zu den Flächentextur-, Linien- und Punktstilen und einen Abkürzungsschlüssel enthält.

Die Beschreibungen einzelner Objekte der Grafik können zusätzlich mit Hilfe eines Text-zu-Sprache-Systems ausgegeben werden. Bei der Anzeige von Diagrammen lassen sich so beispielsweise bei Berührung eines Balkens der Datentyp und sein exakter Wert vorlesen. Der Nutzer hat dadurch die Möglichkeit, relative Unterschiede zwischen den Balken ohne ablenkende Beschriftungen zu ertasten, gleichzeitig aber auch Details wie die genauen Daten oder Metainformationen gezielt anzuhören. Um diese als *audio-taktil* bezeichneten Diagramme zu verwenden, ist jedoch spezielle Hardware wie das audio-taktile Erkundungssystem IVEO [Gar+06] oder ein berührungsempfindliches taktilen Display wie das BrailleDis 9000 [Völ+08] nötig.

Taktile Grafiken zu erzeugen ist für blinde Menschen noch schwieriger als für sehende Menschen. Da für sie der Tastsinn bedeutender als für sehende Menschen ist und sie oft mit taktilen Grafiken vertrauter sind, ist zwar davon auszugehen, dass die Regeln für sie intuitiv leichter verständlich sind. Die genannte Software ist für sie aber nicht zugänglich, weshalb viele von ihnen die Diagramme

in Handarbeit erstellen [Pre+14]. Dadurch gehen aber die Vorteile einer digitalen Grafik, wie die Korrekturmöglichkeiten, verloren. In der Studie von Prescher et al. [Pre+14] zeigt sich, dass blinde Ersteller von taktilen Grafiken außerdem Probleme haben, die Symmetrie und Orientierung zu erhalten, gerade Linien zu zeichnen und Objekte zu unterscheiden, bzw. ihre Relation darzustellen.

Um blinde Menschen in den Berufsalltag zu integrieren, ist es auch nötig, dass sie Grafiken für ihre sehenden Kollegen erstellen oder in Kollaboration mit ihnen Grafiken erzeugen. Daher ist es notwendig, eine Lösung zu finden, wie Menschen unabhängig ihrer Sehfähigkeit Grafiken erzeugen können, die sich sowohl als zugängliche visuelle Diagramme als auch als audio-taktile Diagramme darstellen lassen. Eine Software, die dies ermöglicht, sollte daher den Ersteller führen, so dass er auch ohne Kenntnis der Gestaltungsregeln diese umsetzen kann. Da die blinden Nutzer die Grafik während der Erstellung nicht ertasten können (ein taktils Display sollte keine Voraussetzung sein), darf der Erstellungsprozess keine direkte Interaktion mit der Grafik, wie das Anklicken von Diagrammelementen zur Bearbeitung, erfordern.

Die an der TU Dresden entwickelte Software SVGPlott [Bor+14] ermöglicht dies für mathematische Graphen. Mit Hilfe der Open-Source-Software gnuplot⁴ werden bis zu drei Funktionen voneinander unterscheidbar geplottet und in einer SVG-Datei mit einfach erfassbaren Achsen und optionalen Hilfsmitteln, wie definierbaren Punkten und Integralfächen, gespeichert. Das SVG-Format ermöglicht dabei einen semantischen Aufbau der Grafik, Audio-Labels und eine nachträgliche Stilanpassung für sehende und sehbehinderte Nutzer, sowie für verschiedene taktile Anzeigeräte und -medien.

Im Rahmen dieser Arbeit wird SVGPlott um die Möglichkeit, audio-taktile Punkt-, Linien- und Balkendiagramme zu erzeugen, erweitert. Der zentrale Aspekt ist die möglichst automatische Anwendung der Gestaltungsprinzipien, sowie die Inklusion blinder, sehbehinderter und sehender Nutzer in den Erstellungsprozess. Insbesondere sollen Laien bei der Erstellung unterstützt werden. Der Ersteller soll einerseits möglichst wenige Entwurfsentscheidungen treffen müssen und andererseits frei den Diagrammtyp wählen, sowie zusätzliche Hilfsmittel, wie zum Beispiel die Anzeige einer Regressionsgerade im Punktdiagramm oder eine automatische Sortierung der Werte im Balkendiagramm, nutzen können. Zusätzlich werden Hilfsmittel zur Farbwahl bereitgestellt. Dabei wird die Architektur erweiterbar gestaltet, sodass auch in Zukunft weitere Diagrammtypen hinzugefügt oder die bestehenden erweitert werden können.

Zu Beginn der Arbeit werden in Kapitel 2 Möglichkeiten zur Umsetzung von Diagrammen für blinde Nutzer betrachtet. Daraufhin werden die technischen Grundlagen und die praktische Umsetzung (audio-)taktile Diagramme detailliert

⁴<http://www.gnuplot.info/>

1 Einführung

beschrieben. In Kapitel 3 wird die Software zur automatischen Erstellung audio-taktiler Punkt-, Linien- und Balkendiagramme aus Rohdaten konzipiert. Dazu werden zunächst Anforderungen an die Software und die Darstellung der Diagramme anhand von Problemszenarien formuliert und daraufhin deren Umsetzung beschrieben. Die auf Grundlage der Konzeption implementierte Erweiterung von SVGPlott wird in Kapitel 4 beschrieben. Dazu werden die Funktionalität, die Architektur und das Eingabeformat der Software betrachtet. Die mit der erweiterten Version von SVGPlott erzeugten taktilen Diagramme werden in Kapitel 5 durch blinde Nutzer getestet und bewertet. In Kapitel 6 werden die Ergebnisse dieser Arbeit zusammengefasst und in einem Ausblick Ideen zur Erweiterung von SVGPlott sowie weitere Forschungsfragen formuliert.

2 Diagramme für blinde Nutzer

Versuche, grafische Informationen für blinde Nutzer zugänglich zu präsentieren, reichen bis ins 17. Jahrhundert zurück [Ben82]. Insbesondere wurden Wege gesucht, Kartenmaterial haptisch erfassbar darzustellen. Dabei handelte es sich um handgefertigte Abbildungen, die durch Stanzung oder das Zusammenspiel verschiedener Materialien wie Wachs, Schnur, Drähten und unterschiedlicher Nägel entstanden. Diese Darstellungen waren jedoch Angehörigen gebildeter, wohlhabender Familien vorbehalten. Im 19. Jahrhundert wurden dann im Zuge der Gründung von Schulen für blinde Schüler kommerzielle Drucke von Büchern in Brailleschrift und taktilen Diagrammen angefertigt. Somit wurde erstmals eine flächendeckende Versorgung an Lernmaterialien ermöglicht [Ben82].

Da es vielfältige Möglichkeiten gibt, Informationen und Daten grafisch darzustellen, werden im Rahmen dieser Arbeit nur Diagramme, die Werte auf zwei Dimensionen abbilden, untersucht. Im Einzelnen sind dies Punkt-, Linien- und Balkendiagramme in verschiedenen Ausprägungen. Unter dem Begriff Diagramme werden im Folgenden daher auch nur diese Darstellungsformen verstanden.

Eine weitere Definition ist die des zugänglichen Diagramms. In der eingangs skizzierten Historie zugänglicher Grafiken werden blinde Menschen hauptsächlich als Empfänger gesehen. Zwar wird versucht, für sie Grafiken herzustellen; ihre Inklusion in den Herstellungsprozess wird aber oft vernachlässigt. Jedoch kann diese helfen, aussagekräftigere Grafiken zu erstellen, da blinde Menschen ihre Bedürfnisse selbst am besten kennen und somit besser einschätzen können, was für sie eine gute Grafik ist. Es ist wichtig, dass nicht nur Visualisierungen *für* blinde Menschen, sondern auch *durch* sie produziert werden können, da sie heutzutage in Schulklassen integriert sind, am regulären Mathematikunterricht teilnehmen und im späteren Arbeitsleben ebenfalls mit Daten arbeiten. Genauso sollte eine kollaborative Arbeit an Grafiken ermöglicht werden. Mehrere Kollegen sollten zusammen eine Grafik erstellen, verändern und erweitern können.

Daher ist in dieser Arbeit mit dem Begriff Zugänglichkeit sowohl die Erstellung als auch die Erfassung der Grafik gemeint. Auch soll eine Grafik, die durch einen blinden Menschen hergestellt wird, optisch erfasst werden können. Im Idealfall sollen in eine Diskussion über eine Grafik sehende, sehbehinderte und blinde Personen einbezogen werden können. Somit wird versucht, für diese Personengruppen eine gemeinsame Basis für Grafiken zu schaffen, auf der jeder die für ihn passenden Hilfsmittel erhalten kann.

In diesem Kapitel wird zunächst beschrieben, welche technischen Verfahren es ermöglichen, grafische Diagramme für blinde Menschen zugänglich umzusetzen. Daraufhin werden taktile Diagramme beschrieben. Dazu werden zunächst die Herstellungsmethoden und wie sich die unterschiedlichen Verfahren auf die Darstellung auswirken, vorgestellt. Darauf folgend wird erklärt, wie taktile Diagramme wahrgenommen und exploriert werden und welche Einschränkungen sich daraus gegenüber visuellen Diagrammen ergeben. Nach einer Einführung in audio-taktile Diagramme wird beschrieben, mit welchen Methoden taktile Diagramme digital erstellt werden können.

2.1 Formen der alternativen Darstellung von Diagrammen für blinde Menschen

Wenn blinde Menschen Texte lesen, kompensieren sie das Fehlen des Sehsinns durch die Benutzung des Tastsinns (Braille-Schrift) und des Hörsinns (Text-zu-Sprache-Systeme). In diesem Kapitel werden Verfahren beschrieben, die unter Nutzung dieser Sinne Informationen darstellen, die für sehende Menschen in Diagrammen präsentiert werden. Diese Verfahren reichen von Bildbeschreibungen bis zu technisch aufwändigen Lösungen. Abschließend wird argumentiert, wie-so im Rahmen dieser Arbeit (audio-)taktile Diagramme als Präsentationsmittel gewählt werden.

Da die Verfahren, die in diesem Kapitel genannt werden, meist spezielle Hardwareanforderungen haben und die Wahrnehmung der mit ihnen erzeugten Darstellungen komplizierter als bei visuellen Grafiken ist (siehe dazu auch Kapitel 2.2.2), stellt sich die Frage, ob es überhaupt sinnvoll ist, zu jeder visuellen Grafik eine zugängliche Version zu erstellen. Inhalte, die leicht durch Text zu beschreiben sind, bedürfen keiner grafischen Präsentation und somit sollte laut Bentzen [Ben82] nicht jede Grafik, die für sehende Nutzer angefertigt wurde, nur weil es möglich ist, auch für blinde Nutzer umgesetzt werden. Diese Aussage findet sich auch in den Regeln der Braille Authority of North America [Bra10] und gilt ebenso für Diagramme.

Um dies zu verdeutlichen, sei ein Beispiel genannt. Die Wahloptionen bei einem Referendum entsprechen einer Variable mit den Werten “ja” und “nein”. Diese könnten durch ein Tortendiagramm visualisiert werden. Dennoch ist es hier ausreichend, die Werte im Text zu erwähnen. Der Nutzen einer solchen Grafik liegt für sehende Menschen darin, dass die Ergebnisse präattentiv wahrgenommen werden können. Dies ist zum Beispiel durch das sequentielle haptische Finden und Erkennen einer taktilen Grafik nicht möglich (siehe Kapitel 2.2.2), sondern zeitaufwändig.

2.1 Formen der alternativen Darstellung von Diagrammen für blinde Menschen

Edman formuliert genauere Regeln dazu, ob ein taktils Diagramm oder ein Graph erzeugt werden sollten. “Ein Diagramm oder ein Graph sollten erzeugt werden, wenn:

- wertvolle Information enthalten ist, die nicht im Text zu finden ist
- der Text durch das Layout oder die Präsentation des Materials verständlicher wird
- die Darstellung in direktem Bezug zum Text steht, also das Diagramm bzw. der Graph Punkt für Punkt im Text diskutiert wird und die Teilnahme des Lesers beim Beantworten von Fragen oder Lösen von Problemen nötig ist” [Edm92, S.359, Übers. d. Verf.]

Edman definiert auch Kriterien, die eine taktile Grafik obsolet machen. Eine taktile Grafik ist demnach nicht nötig, wenn ihr Inhalt bereits durch den Text ausgedrückt wird und sie keine weitere Information geben kann. Weitere Kriterien stehen im Kontext des Schulunterrichts. Auf den allgemeinen Fall übertragen besagen diese, dass eine taktile Grafik auch dann nicht nötig ist, wenn in dem speziellen Kontext, in dem sie gezeigt wird, eine mündliche Erklärung oder eine händische Skizze ausreichen. Wird eine Grafik weggelassen, so sollte dies immer erwähnt werden [Edm92, S.359].

Eine weitere Möglichkeit, Daten als Text darzustellen, bieten Wertetabellen. In einer Studie vergleichen Goncu et al. [Gon+10b] die Effektivität von Tabellen in Vergleich zu Balkendiagrammen. Obwohl die Darstellung als Diagramm helfen könnte, Größenverhältnisse und Trends zu erkennen, bevorzugen die meisten Teilnehmer Tabellen gegenüber Balkendiagrammen. Auch die zum Lesen der Werte durchschnittlich benötigte Zeit ist in der Studie bei Tabellen kürzer als bei Balkendiagrammen. Im Fall von Streudiagrammen hingegen stellen Watanabe et al. [Wat+12] fest, dass ein taktils Diagramm deutlich schneller als eine Tabelle verstanden und ausgewertet werden kann. Wird aufgrund der genannten Kriterien entschieden, die Informationen nicht nur durch Text zu vermitteln, so gibt es dazu mehrere Möglichkeiten, die nachfolgend vorgestellt werden.

Nicht-sprachliche Audiosignale bieten die Möglichkeit, Daten und deren Verlauf zu vermitteln. Wichtige Charakteristika eines Audiosignals sind die Tonhöhe bzw. Frequenz, die Position, die Lautstärke und im Fall eines pulsierenden Signals, die Schlagfrequenz (z.B. bei Geigerzählern) [Kra+10]. Ein Beispiel dafür ist der Accessible Graphing Calculator [BG98], mit dem mathematische Funktionsgraphen sonifiziert werden können. Die x-Achse wird dabei durch den zeitlichen Verlauf des Signals dargestellt, während die y-Achse auf die Tonhöhe

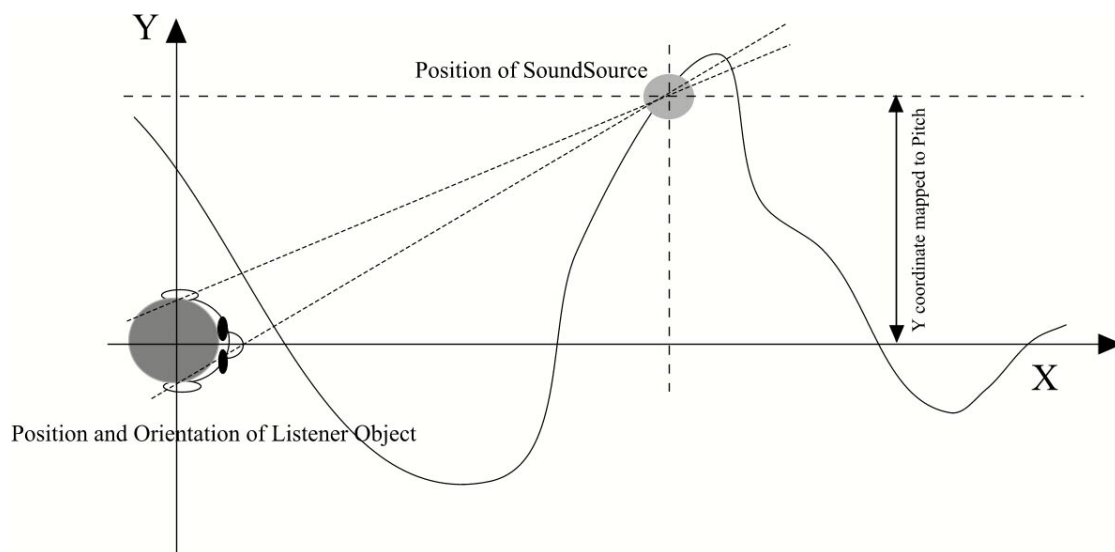


Abbildung 2.1: Nutzung von räumlichen Informationen bei der Sonifikation eines Liniengraphs (entnommen aus [Ram+00])

abgebildet wird. Die aktuelle Version¹ verwendet kurze Lautstärkespitzen, um Achsenmarkierungen auszugeben [Vie09].

Aufgrund der Ähnlichkeit mathematischer Graphen und Liniendiagrammen übertragen Ramloll et al. [Ram+00] dieses Prinzip auch auf letztere. Als Erweiterung setzen sie mehrere in einem virtuellen Raum auf der Linie positionierte Soundquellen ein, um mehrere Linien parallel darzustellen. Der Hörer wird virtuell auf dem Ursprung des Koordinatensystems positioniert, mit Blick in Richtung der x-Achse (siehe Abbildung 2.1). Dies vereinfacht die Wahrnehmung weiterer Merkmale der Linie, insbesondere Nulldurchgänge.

Sonifikation ist somit eine vielfältige Möglichkeit zur Darstellung von kontinuierlichen Daten, insbesondere mit zeitlichem Bezug, also auch von Echtzeitdaten, wie bei dem bereits genannten Geigerzähler. Sonifikation kann ebenso zur Darstellung von kategorischen und räumlichen Daten wie bei Kreisdiagrammen [FR03], Balkendiagrammen und Raumplänen [Wör+16] verwendet werden. Vorteilhaft ist insbesondere die Verfügbarkeit: Zur Benutzung ist lediglich ein Kopfhörer nötig.

Andere Überlegungen führen zum Einsatz des Tastsinns. Die eingangs erwähnten taktilen Grafiken (siehe Abbildung 2.2) können von Hand aus verschiedenen Materialien oder mittels technischer Verfahren hergestellt werden. Sie ähneln im Aufbau einer visuellen Grafik. Elemente werden durch Erhebungen oder Senken, die zu verschiedenen Linienmustern und Texturen kombiniert werden können,

¹<https://viewplus.com/product/audio-graphing-calculator/>

2.1 Formen der alternativen Darstellung von Diagrammen für blinde Menschen

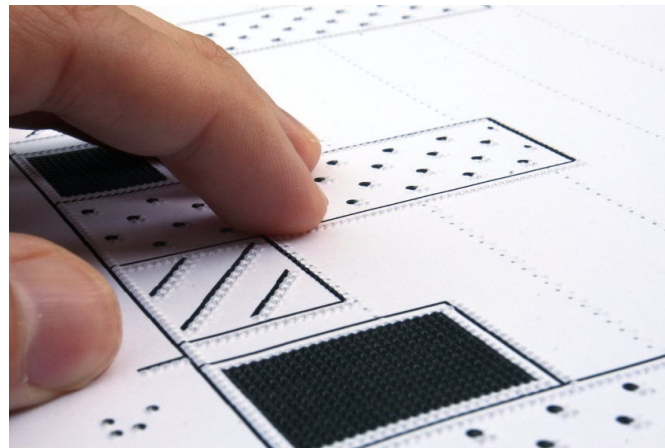


Abbildung 2.2: Taktils Balkendiagramm, erzeugt mit einer Prägemaschine mit zusätzlichem Farbdruck

dargestellt und können mit den Fingern ertastet werden. Brailletext oder einzelne Zeichen dienen der Beschriftung. Eine Legende, ein Schlüssel zu den Abkürzungen und eine Textbeschreibung erleichtern das Erkunden.

Taktile Diagramme als Spezialfall von taktilen Grafiken werden in der Literatur immer wieder diskutiert (z.B. [Edm92; Lad+05; KB05; Gar+06; GM08; Jay+07]). Es gibt bereits etablierte Richtlinien zur Gestaltung von taktilen Grafiken, die deren Erstellung vereinfachen und die Lesbarkeit erhöhen [Bra10; PB16].

Ein Vorteil von taktilen Diagrammen liegt darin, dass sie für Bücher produziert werden können, wo sie ohne weitere Hilfsmittel benutzbar sind. Weitere Vorteile ergeben sich aus der Ähnlichkeit zu visuellen Diagrammen. Goncu et al. [Gon+10a] stellen fest, dass visuelle Diagramme dem Dargestellten ähneln. Während zum Beispiel in einer Tabelle nur Zahlen stehen, lassen sich Größen und ihre Verhältnisse in einem Diagramm direkt wahrnehmen, da sie auf die entsprechenden visuellen Variablen abgebildet werden. Dadurch veranschaulichen sie die dargestellten Inhalte und erleichtern es, sich diese zu merken. Goncu et al. gehen davon aus, dass dies mindestens bedingt auch auf taktile Diagramme zutrifft. Sie bemerken jedoch auch, dass die Effektivität dieser Darstellungen weiter erforscht werden muss. Bentzen [Ben82] befürwortet bereits 1982 trotz der damals noch wenig erforschten Gestaltungsregeln und Produktionstechniken die Verwendung taktiler Grafiken. Er führt als einen weiteren wichtigen Vorteil an, dass taktile Grafiken die Kommunikation mit sehenden Menschen erleichtern, da diese die Verwendung von visuellen Darstellungen gewöhnt sind und in ihre Kommunikation einbeziehen.

Da taktile Grafiken ein zweidimensionales Medium sind, schreibt Bentzen [Ben82], dass dreidimensionale Darstellungen zu vermeiden oder durch zweidi-

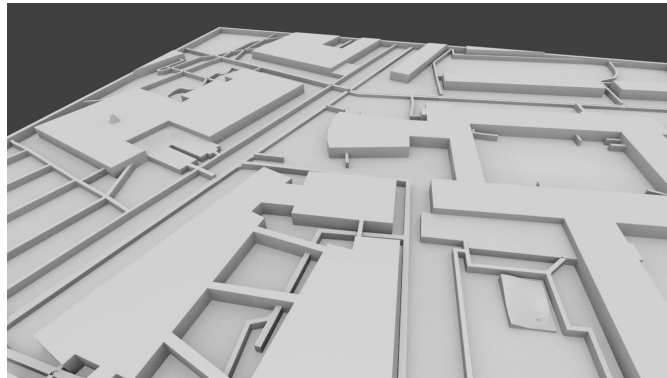


Abbildung 2.3: Mit Touch Mapper erzeugtes und nachträglich gerendertes 3D-Modell einer Kartenansicht der Umgebung der Informatikfakultät der TU Dresden.

mensionale Ansichten zu ersetzen sind. Ist der vollständige Kontext nötig, sollte stattdessen ein Modell angefertigt werden. Dies schließt die Verbreitung in einem Buch aus. Auch ist es für blinde Ersteller schwer, diese Modelle zu produzieren. Jedoch könnten 3D-Drucker sehenden Menschen² die Erzeugung von 3D-Modellen (z.B. in der Biologie oder Architektur) erleichtern. Das Online-Tool Touch Mapper³ ermöglicht es beispielsweise, aus Daten der Open Street Map durch Eingabe einer Adresse ein 3D-Modell eines Kartenausschnitts zu erzeugen, das mit einem 3D-Drucker gedruckt werden kann. Es bietet weiterhin Exportmöglichkeiten für taktile Grafiken an. Ein Beispiel für einen solchen Kartenausschnitt ist in Abbildung 2.3 zu sehen.

Eine weitere Möglichkeit, den Tastsinn zur Informationserfassung zu nutzen, bieten Systeme, die auf Krafterückkopplung (Force Feedback) basieren. Inspiriert durch die erfolgreiche Verwendung von Force-Feedback-Geräten in der Teleoperation (Interaktion aus der Ferne) wurde bereits in den 90er Jahren vorgeschlagen, solche Geräte auch zur Interaktion mit virtuellen Objekten zu verwenden. Force-Feedback-Geräte bestehen aus einem mechanischen Arm, der in eine oder mehrere Richtungen Kraft ausüben und damit den Widerstand von Oberflächen simulieren kann. Während in der Teleoperation ein Pendant zu diesem Arm mit einem entfernten Objekt interagiert, werden virtuelle Objekte punktuell durch einen virtuellen Cursor abgetastet, der durch den Arm gesteuert wird [ZS95].

Typischerweise nutzen diese Systeme einen multimodalen Ansatz, der zusätzlich Sonifikation oder Sprachausgabe nutzt. Ein Beispiel ist das multimodale System von Yu et al. [Yu+01]. Hierbei wird ein Liniengraph durch 3D-Objekte

²Wenn es Modelle mit barrierearmer Bedienung gibt, auch blinden Menschen.

³<https://touch-mapper.org/>

2.1 Formen der alternativen Darstellung von Diagrammen für blinde Menschen

dargestellt, die mit einem beweglichen Arm, der entsprechend der Struktur der Grafik Widerstand leistet, ertastet werden können. Verschiedene Objekte werden durch unterschiedlich simulierte Reibung voneinander trennbar. Zusätzlich dazu werden mit verbalem und nonverbalem Ton weitere Informationen vermittelt. Der Nachteil dieses Systems ist, dass nur ein einziger Punkt der Darstellung auf einmal berührt werden kann. Damit fallen zum Beispiel direkte Vergleiche schwer.

Ein anderes multimodales System, Tac-Tiles [WB06], stellt Kreisdiagramme dar. Es kombiniert ein Grafiktablet mit einer Auflage, die Kreisreliefs mit verschiedenen Radien enthält und der Navigation dient. Zusätzlich gibt eine taktile Maus (VTPlayer) Feedback über das Überfahren der Kreissegmente. Ein Text-zu-Sprache-System gibt Information über das aktuelle Kreissegment aus. Vorteilhaft ist an dieser Lösung, dass bei einer Änderung der Daten des Kreisdiagramms der Nutzer sofort die neue Version angezeigt bekommt.

Solche Erweiterungen sind auch für die zuvor genannten taktilen Diagramme möglich. Mittels einer Stiftplatte können Änderungen ebenfalls in Echtzeit angezeigt werden. Ist das Anzeigegerät touchsensitiv, so können damit Elemente des taktilen Diagramms ausgewählt und ihre Beschreibung mit einem Text-zu-Sprache-System vorgelesen werden. Diese audio-taktilen Diagramme haben gegenüber taktilen Diagrammen ohne Audioinformationen weitere Vorteile. Während letztere die Erkennung von Relationen zwischen den dargestellten Daten durch direkte qualitative Vergleiche ermöglichen, können die absoluten Werte und weitere Informationen vorgelesen werden. Ein Beispiel für ein solches System ist das *ViewPlus IVEO*-System [Gar+06]. Eine in Papierform vorliegende taktile Grafik aus einer SVG-Datei wird auf ein Touchpad gelegt und kann dann exploriert werden. Durch Antippen werden in der SVG-Datei gespeicherte Detailinformationen vorgelesen.

Tabelle 2.1 gibt einen Überblick über die genannten Verfahren und welche Hardware für die Benutzung und Erzeugung der Darstellungen nötig ist. Da Diagramme nicht nur stationär verwendet werden, sondern auch als Teil von Büchern oder mit einem mobilen Endgerät, wird kurz genannt, inwieweit die Darstellungen portabel sind. Außerdem werden Beispiele angegeben, für welche Diagrammtypen die Verfahren bereits benutzt werden. Zu beachten ist, dass 3D-Modelle außerhalb des Kontextes von 2D-Diagrammen stehen, weshalb in ihrem Fall nur allgemein mögliche Anwendungen vorgeschlagen werden.

(Audio-)taktilen Diagramme haben in vielen Punkten gegenüber den anderen Verfahren Vorteile. Insbesondere vereinfacht ihre Ähnlichkeit zu ihren visuellen Äquivalenten prinzipiell die Kooperation zwischen blinden und sehenden Menschen. Da die Audio-Annotationen, wenn zusätzlich eine Legende und Beschreibung vorliegen, vor allem als Hilfe zum schnelleren Erfassen dienen, müssen sie

| | Hardware (Lesen) | Hardware (Erzeugung) | Portabilität | Einsatzmöglichkeiten |
|--------------------------------|--|---|---|---|
| Sonifikation | Kopfhörer/ Lautsprecher | keine | Smartphone + Kopfhörer | math. Graphen [BG98], Liniendiagramme [Ram+00] |
| Force Feedback (multimodal) | Kopfhörer/ Lautsprecher + Force-Feedback-Arm | keine | keine | Liniendiagramme [Yu+01], Balkendiagramme [YB02] |
| 3D-Modelle | keine | 3D-Drucker, Werkzeug (Handarbeit) | Mitnahme des Modells | Abbildung von 3D-Daten, Daten mit räumlichen Bezug |
| taktil | taktiles Display bei Verwendung von "ausgedruckter" Version keine | bei Verwendung von taktilen Display keine sonst: Prägemaschine o. Schwellpapier + Drucker o.ä. | Mitnahme des "Ausdrucks", Bücher | Punkt-, Linien-, Balkendiagramme u.v.m. [Bra10] |
| audio-taktil | taktilen Touchdisplay o. Tablet + "Ausdruck" Kopfhörer/ Lautsprecher | siehe taktil | evtl. durch mobiles Tablet + "Ausdruck" + Kopfhörer | siehe taktil |

Tabelle 2.1: Vergleich verschiedener Verfahren zur Erzeugung zugänglicher Diagramme. Zur Erzeugung ist bei allen technischen Verfahren ein Computer nötig.

nicht zwingend beim Lesen verwendet werden, können aber mit einem mobilen Tablet abgerufen werden. Somit sind (audio-)taktile Diagramme auch portabel. Sie ermöglichen eine Vielzahl von verschiedenen Darstellungen, die den Möglichkeiten, die von visuellen Grafiken geboten werden, sehr nahe kommt (siehe dazu auch die Beispiele aus [Bra10]). Eine Untersuchung von Wörtwein et al. [Wör+16] ergab außerdem, dass die Testpersonen taktile Graphen und Balkendiagramme schneller verstehen konnten als deren sonifizierte Äquivalente und daher die ihnen gestellten Aufgaben besser erfüllen konnten. Auch waren die Testpersonen zufriedener mit der taktilen Darstellung. Aufgrund der Vorteile von (audio-)taktile Grafiken werden diese in der vorliegenden Arbeit als Mittel benutzt, zugängliche Diagramme für blinde Menschen zu präsentieren.

Im folgenden Kapitel werden (audio-)taktile Diagramme, ihre Herstellung und ihre Benutzung erläutert. Außerdem werden grundsätzliche Gestaltungsrichtlinien, die ihren Ursprung in der speziellen Art, wie Menschen taktile Diagramme wahrnehmen, haben, beschrieben.

2.2 (Audio-)taktile Diagramme

Audio-taktile Diagramme sind ein Ansatz, um Informationen, die durch Text allein nicht übersichtlich darstellbar sind, haptisch und akustisch zu präsentieren. Der taktile Teil ähnelt dabei im Aufbau eines visuellen Diagramms. Elemente werden durch Erhebungen oder Senken, die zu verschiedenen Linienmustern und Texturen kombiniert werden können, dargestellt und können mit den Fingern ertastet werden. Brailletext oder einzelne Zeichen dienen der Beschriftung. Eine Legende, ein Schlüssel zu den Abkürzungen und eine Textbeschreibung erleichtern das Erkunden. Durch Text-zu-Sprache-Systeme können einzelne Bestandteile des Diagramms mit Zusatzinformationen versehen werden. Dies ermöglicht es, weniger mit Beschriftungen zu arbeiten, die Platz einnehmen oder im Falle von Abkürzungen die Referenzierung in der Legende erfordern würden. Somit wird das taktile Diagramm zum audio-taktilen Diagramm und aus einer statischen Darstellung wird eine bedingt interaktive Darstellung.

In diesem Kapitel werden zunächst verschiedene Verfahren zur Herstellung taktiler Diagramme beschrieben. Die Eigenschaften der jeweiligen damit erzeugten Produkte werden kurz erläutert. Darauf folgend wird beschrieben, wie taktile Diagramme erkundet werden, welche Strategien es dazu gibt und inwieweit der Tastsinn beeinflusst, wie taktile Diagramme wahrgenommen werden. Da sowohl das Medium, auf dem taktile Diagramme dargestellt werden, als auch die Wahrnehmung spezielle Gestaltungsrichtlinien erforderlich machen, werden diese ausgehend von allgemeinen Richtlinien für taktile Grafiken hin zu den speziellen Regeln für taktile Diagramme und deren einzelnen Komponenten beschrieben.

Daraufhin werden die Eigenschaften audio-taktiler Diagramme vorgestellt. Dabei wird motiviert, welche Möglichkeiten es gibt, Geräusche und Sprache zu verwenden, um taktile Diagramme zu erweitern und ihre Benutzung zu vereinfachen. Im letzten Teil des Kapitels wird beschrieben, wie taktile Diagramme in der Praxis erstellt werden. Während dies typischerweise durch ein manuelles Zusammenfügen der Gestaltungselemente geschieht, gibt es weitere Verfahren, mit denen die Transkription von existierenden Diagrammen oder das automatische Erstellen taktiler Diagramme aus Textdaten ermöglicht wird.

2.2.1 Herstellungsverfahren taktiler Diagramme

In diesem Kapitel wird beschrieben, welche technische Verfahren es zur Herstellung von taktilen Diagrammen gibt. Die Endprodukte dieser Verfahren haben teilweise unterschiedliche Eigenschaften, die bereits bei der Gestaltung beachtet werden müssen. Eine Gemeinsamkeit aller Verfahren ist ihre im Vergleich zu visuellen Grafiken geringe Auflösung, die mit der im nächsten Kapitel beschriebenen Auflösung des Tastsinns korreliert. Auch bieten alle Verfahren die Möglichkeit, Text in Braille-Schrift einzusetzen.

Werden taktile Diagramme von Hand gebastelt, sind durch die große Auswahl an Materialien Variationen in Rauheit und Reibung (Schleifpapier, Aluminiumfolie, Wachsstift), Höhe (Pappe, Papier) und Nachgiebigkeit (Schnur, Draht) möglich⁴. Zusätzliche Elemente wie Reißnägeln ermöglichen es, Punkte von der darunter liegenden Textur deutlich zu trennen. Bei aufgeklebten Flächen sind die Kanten leicht zu verfolgen. Auf diese Art ist eine Vielzahl von verschiedenen Darstellungen möglich.

Technische Druckverfahren bieten diese Flexibilität nicht. Prägemaschinen (ein mit einer Prägemaschine erzeugtes taktilen Diagramm ist in Abbildung 2.2, S. 9 abgebildet) stanzen in einem Raster kleine erhabene Punkte in stabiles Papier. Ein auf diese Art erzeugtes Diagramm ist in Abbildung 2.2, S. 9 abgebildet. Taktile Displays (siehe Abbildung 2.4) bewegen ähnlich wie bei einer Braille-Zeile Stifte aus der Grundebene heraus. Ersteres Verfahren ermöglicht kleine Abstufungen in der Punkthöhe, was meist der einzige Variationsgrad ist [Bra10]. Die Auflösung des Stift-/Punktrasters beträgt je nach Hardware zwischen 10 und 20dpi [Bor+15]⁵. Mit diesen Methoden lassen sich grobe Texturen darstellen; die Bandbreite an unterscheidbaren Texturen ist aber beschränkt [Bra10]. Eine andere Methode ist die Verwendung von Schwellpapier, das mit schwarzer Tinte oder Toner bedruckt wird und sich durch Erhitzung an den bedruckten Stellen erhebt [Bra10]. Dies ermöglicht die Produktion von klar umrissenen Linien. Au-

⁴Materialien aus [Ben82], [Edm92]

⁵Zum Vergleich: Full-HD-Display eines 10-Zoll-Tablets: 220 dpi



Abbildung 2.4: Taktils Display (Abbildung entnommen aus [Pre+10]).

ßerdem gibt es die Vakuumformung, bei der ein Kunststoffblatt durch Hitze und Vakuumherzeugung auf ein vorher erstelltes Master angepasst wird.

Die unterschiedlichen Herstellungsmethoden führen dazu, dass die Grafik an das verwendete Verfahren und seine Auflösung angepasst werden muss. Beispielsweise ist es laut Prescher und Bornschein [PB16, S. 24] nötig, unterschiedliche Flächentexturen zu verwenden. Während Stiftplatten und Prägemaschinen naturgemäß ein Raster erzeugen (und somit eine rauhe Textur), erzeugt Schwellpapier glatte Flächen. Soll letzteres eine ähnliche Oberfläche wie die ersten beiden Verfahren erzeugen, muss statt einer soliden Fläche eine gerasterte Textur angegeben werden. Auch erfordern die unterschiedlichen Auflösungen verschiedene Liniendicken, was wiederum Texturen, die Linien enthalten, ebenso beeinflusst. Für die verschiedenen Verfahren sind unterschiedliche Abstände zwischen den Elementen einer Grafik nötig [PB16, S. 12]. Genaue Werte für die einzelnen Verfahren in verschiedenen Situationen finden sich in den Richtlinien von Prescher und Bornschein sowie anderen im Rahmen dieser Arbeit zitierten Regelwerken.

Für die Gestaltung eines taktilen Diagramms ist jedoch nicht nur das Herstellungsverfahren ausschlaggebend, sondern insbesondere auch die menschliche Wahrnehmung. Im nächsten Kapitel werden die Merkmale des Tastsinns, auf die bei der Erstellung taktiler Diagramme geachtet werden sollte, beschrieben.

2.2.2 Erkundung taktiler Diagramme

Visuelle Diagramme beruhen auf verschiedenen Eigenschaften des menschlichen Sehsinns, um teilweise große Mengen an Informationen übersichtlich zu präsentieren. Mit einem unbeeinträchtigten Sehsinn ist es möglich, in einer hohen Auflösung Helligkeit und Farbe zu unterscheiden. Weitere Eigenschaften der visuellen Wahrnehmung erlauben die schnelle und zielgerichtete Extraktion von

Informationen aus Darstellungen. Diese Möglichkeiten sind beim Tastsinn nur eingeschränkt vorhanden. In diesem Kapitel wird daher beschrieben, welche Einschränkungen es gibt, worin sich die visuelle von der haptischen Wahrnehmung unterscheidet und welche Auswirkungen dies auf die Gestaltung und Erkundung taktiler Diagramme hat.

Goncu et al. [Gon+10a] führen die Besonderheiten der Wahrnehmung von taktilen Grafiken aus. Im Vergleich zur Wahrnehmung mit dem Auge ist es bei der Ertastung schwerer, einen Überblick zu erhalten. Der Grund liegt zum einen im gegenüber dem Sehsinn kleineren Wahrnehmungsbereich der Finger. Johnson und Phillips [JP81] ermittelten, dass 2-2,5mm der Hautfläche der Fingerspitzen in ihrer Auflösung in etwa einer Winkelminute ($\frac{1^\circ}{60}$) des Sichtfelds an der Stelle der größten Sehschärfe entsprechen. Eine Fingerspitze mit 1,5cm Auflagefläche entspricht also $\frac{1^\circ}{8}$ - $\frac{1^\circ}{10}$ des Sichtfeldes, die lange Seite eines A4-Blattes entspricht damit ca. 2°-2,5° Grad des menschlichen Blickfeldes und müsste sich für eine vergleichbare Auflösung in 6,8m-8,5m Entfernung zum Betrachter befinden.

Die geringe Auflösung führt dazu, dass die Informationen sequentiell und nicht parallel erfasst werden [Gon+10a; Jac98]. Eine Besonderheit dabei ist, dass sich die Fingerspitzen unabhängig voneinander bewegen können und der Betrachter die Reihenfolge der erfassten Information selbst bestimmen kann [Ber82]. Zum anderen gibt es anders als beim Sehsinn keine periphere Wahrnehmung. Daher muss der Kontext der einzelnen Objekte im Gedächtnis abgelegt werden [Gon+10a]. Außerdem macht es die geringere Auflösung gegenüber dem Sehsinn schwerer, komplexe Informationen kompakt darzustellen, da alle Elemente wesentlich größer dargestellt werden müssen.

Das gleich große taktile Äquivalent einer Grafik muss daher oft eine Vereinfachung sein [Jac98]. Wie Goncu et al. [Gon+10a] bemerken, ist es gängig, die Nachteile der haptischen Wahrnehmung durch eine textuelle Beschreibung der Grafik auszugleichen. Ein weiterer Unterschied zu visuellen Grafiken ist der Umgang mit Beschriftungen. Da Braille-Texte einen hohen Platzbedarf haben (die Größe von Braille ist fix), müssen sie oft durch eine Legende bzw. durch in einem Schlüssel aufgelistete Abkürzungen ersetzt werden, um Überschneidungen zu vermeiden.

Heller und Gentaz [HG13][S. 40-42] beschreiben die haptische Wahrnehmung von Objekten. Die Eigenschaften eines Objektes werden durch jeweilige “Exploratory procedures” (EP) erfasst. Da mit den im vorhergehenden Kapitel genannten technischen Verfahren produzierte Diagramme lediglich Texturen auf einer Fläche sind, ist zu ihrer Erkundung lediglich die EP der lateralen Bewegung nötig. Ziel der EP ist, aus einem physikalischen Objekt eine innere Repräsentation zu erzeugen.

Berla [Ber82] erläutert Merkmale von Erkundungsstrategien. Er unterscheidet

dabei zwei Bewegungsarten der Hände: Mikrobewegungen dienen der Erkennung von Texturen, Makrobewegungen ermöglichen die Erfassung grundlegender Eigenschaften von Objekten, wie deren Position und Größe. Dazu gibt es verschiedene Techniken, wie das Suchen und Messen von Objekten und das Verfolgen von Konturen. Ein weiteres Element der Erkundungsstrategien ist die Suche von Ankerpunkten. Viele Menschen nutzen zur Ertastung nur den Zeige-, Mittel- und Ringfinger, während der Daumen auf bestimmten markanten Punkten verbleibt und somit die Orientierung innerhalb der Grafik erleichtert.

Gemäß Berla [Ber82] ist die Richtung der suchenden Handbewegung, die horizontal oder vertikal ausgeführt werden kann, ein wichtiger Aspekt der Erkundungsstrategien. Während die Präferenz einer Richtung individueller Natur ist, ergeben seine Versuche, dass die vertikale Suchstrategie der horizontalen überlegen ist. Berla begründet dies damit, dass bei der vertikalen Suche eine größere Fläche parallel erfasst werden kann und die Bewegung motorisch einfacher ist. Die horizontale Suche führt oft dazu, dass die Person mit den Händen statt einer geraden Linie einen Bogen beschreibt und dadurch leichter Elemente überspringt oder mehrfach ertastet. Somit ermöglicht die vertikale Erkundung eine systematischere Herangehensweise. In beiden Fällen suchen die meisten blinden Leser zunächst den Titel des Diagramms [Gon+10a].

Aus den Kenntnissen über die Erkundung und Wahrnehmung taktiler Diagramme lassen sich Richtlinien zur Gestaltung ableiten. Beispielsweise müssen Konturen leicht verfolgbar sein und es dürfen nicht zu viele Elemente in einem Diagramm verwendet werden. Auch sollten diese nicht zu klein sein. Da mit den Makrobewegungen die grundlegende Struktur des Diagramms erfasst wird, sollte die Gestaltung möglichst intuitiv und konsistent sein. Im nächsten Kapitel werden weitere Gestaltungsprinzipien beschrieben und damit die Grundlagen für den Aufbau taktiler Diagramme geschaffen.

2.2.3 Gestaltungsrichtlinien für taktile Diagramme

Um zugängliche Diagramme erstellen zu können und auch die Erstellung selbst zugänglich zu machen, müssen einige Regeln beachtet werden. Viele Gestaltungsprinzipien von visuellen Diagrammen sind für sehende Menschen aus der eigenen Erfahrung intuitiv klar (auch diese werden oft genug nicht ausreichend beachtet) oder es kann wenigstens selbst leicht verifiziert werden, ob die dargestellten Informationen erkennbar sind. Dahingehend sind die Regeln für taktile Diagramme für sehende Menschen weniger intuitiv. Da ihnen die Erfahrung mit taktilen Diagrammen meist fehlt und sie die Bedürfnisse blinder Menschen nicht kennen, ist es wichtig, diese Gestaltungsregeln klar zu definieren. In diesem Kapitel werden die wichtigsten Regeln, die speziell die genannten Diagrammtypen betreffen, motiviert und erläutert. Als Grundlage dazu dienen unter anderem die Regelwerke

der Braille Authority of North America [Bra10] und von Prescher und Bornschein [PB16].

Damit ein Diagramm nicht nur von blinden, sondern auch von sehbehinderten und sehenden Menschen verwendet werden kann, sollte trotz des Fokus auf taktile Diagramme auch bedacht werden, dass diese Regeln es nicht erschweren sollten, eine visuelle Version des Diagramms zu erzeugen. Diese sollte, wie von Goncu und Marriott [GM08] vorgeschlagen, der taktilen Version ähnlich sein, um eine einfache Kommunikation zu ermöglichen. Die Transkription des taktilen Diagramms in ein visuelles Diagramm könnte idealerweise folgendermaßen stattfinden: Eine Verkleinerung und die Ersetzung der Braille-Zeichen durch eine Maschinenschrift machen das Diagramm visuell lesbar. Durch das Hinzufügen von Farben lässt sich das Diagramm wird die Lesbarkeit weiter verbessert. Belässt man die Größe des taktilen Diagramms und wählt spezielle Farben, so können auch sehbehinderte Menschen leichter mit dem Diagramm umgehen. Farben werden in Kapitel 3.2.3 ausführlicher betrachtet.

Als erste Überlegung stellt sich die Frage nach der Größe des Diagramms. Zwar erlaubt eine größere Darstellung mehr Informationen, aber es gibt dabei auch eine Grenze. Laut Edman [Edm92, S.105] liegt diese bei einem Durchmesser, der einer bis zwei Händen (gemessen vom ausgestreckten Daumen zum ausgestreckten Zeigefinger) entspricht. Ein hochkant oder quer gelegtes A4-Blatt ist daher zum Beispiel eine passende Wahl. In diesem Rahmen sollten alle Elemente so groß wie möglich dargestellt werden, ohne dadurch die Lesbarkeit einzuschränken [PB16, S. 8].

Somit ist aber der Platz im Vergleich zu einem visuellen Diagramm beschränkt. Daher kann weniger Information in einer Darstellung untergebracht werden. Zusätzlich dauert die Wahrnehmung der Informationen länger und wird kognitiv schwieriger, als bei einem visuellen Diagramm. Deshalb sollte die Komplexität des Diagramms reduziert werden. Dazu gibt es mehrere Möglichkeiten.

Einerseits sollte Unwichtiges weggelassen werden, ohne nötige Informationen zu entfernen [PB16, S. 8; Edm92, S. 368 f]. Dies kann Zierelemente (diese wären in der taktilen Darstellung unbrauchbar), Hilfselemente und informationstragende Elemente betreffen. Letzteres kann zum Beispiel durch eine Einschränkung des Wertebereichs oder einen reduzierten Detailgrad [PB16, S. 8] geschehen. Beispielsweise könnte eine lange Zeitachse auf den relevanten Bereich verkürzt werden oder nur jede zweite Jahreszahl dargestellt werden. Wichtig ist nur, dass die Aussage dadurch nicht verfälscht wird.

Andererseits besteht auch die Möglichkeit, das Diagramm aufzuteilen. Dazu können Informationen in die Legende bzw. die Bildbeschreibung ausgelagert werden [PB16, S. 8] und zu große Labels durch Abkürzungen, die in einem Schlüssel ausgeführt werden, ersetzt werden [Bra10, 3.2.2]. Prescher und Bornschein

[PB16, S. 8] beschreiben auch eine inhaltliche Aufteilung. Ein sehr komplexes Diagramm kann durch eine grobe Übersicht und mehrere Detailansichten von kritischen Stellen erfassbarer werden.

Um die Diagramme leicht lesbar zu machen, sollten sie der intuitiven Wahrnehmung der Leser folgen und ihren Erwartungen entsprechen. Um dies zu erreichen, ist es wichtig, innerhalb einer Institution einen konsistenten Aufbau aller Diagramme zu gewährleisten [PB16, S. 8]. Die Ausrichtung des Diagramms sollte – wenn sie nicht durch die Lage des Titels klar ist – evtl. in der Beschreibung deutlich gemacht werden [PB16, S. 8]. Dabei soll die Leserichtung immer von oben nach unten und von links nach rechts sein [Edm92, S.368].

Um einen ähnlichen Aufbau zu visuellen Diagrammen zu gewährleisten, wird zunächst ein solches betrachtet. Das Diagramm in Abbildung 2.5 wurde mit LibreOffice Calc aus drei Datenreihen erzeugt. Gewählt wurde die Standardeinstellung für *Liniendiagramme* mit der Darstellungsform *Nur Punkte*. Es enthält einen Diagrammtitel und eine Überschrift, die untereinander zentriert platziert wurden. Darunter befindet sich der Diagrammbereich, neben dem auf der rechten Seite die Legende platziert wurde. Das Diagramm enthält zwei Achsen, die mit Beschriftungen im Abstand von einer bzw. fünf Einheiten versehen sind. Achsenmarkierungen wurden jeweils zum Label hin zeigend platziert. Die Beschriftungen und Markierungen der horizontalen Achse befinden sich, da die vertikale Achse negative Werte zulässt, mitten im Diagramm und überschneiden sich teilweise mit dem Gitter und den Datenpunkten. Die Achsen sind jeweils zentriert am Rande der Grafik mit einem Titel beschriftet, wobei der Titel der vertikalen Achse um 90° nach links rotiert ist. Das Gitter besteht aus horizontalen Linien, welche an den Markierungen der vertikalen Achse ansetzen. Sowohl die Achsen als auch die Markierungen und das Gitter sind mit soliden, dünnen, grauen Linien gezeichnet. Die Datenpunkte unterscheiden sich in ihrer Farbe und Form und überschneiden sich teilweise. Die Darstellung ist dennoch gut lesbar.

Um das Diagramm aus Abbildung 2.5 als taktils Diagramm darzustellen, könnte man alle Texte durch Braille-Schrift ersetzen, die grafischen Elemente in Grautöne konvertieren und das Ergebnis mit einer Prägemaschine drucken, wobei die geprägten Punkte je tiefer geprägt werden, umso dunkler der Grauwert ist. Eine solche naive Transkription ist in Abbildung 2.6 dargestellt. Ein eindeutiges Problem sind hier alle Elemente, die sich überschneiden. Dies betrifft insbesondere die horizontalen Achsenlabels und die Datenpunkte. Der Titel der vertikalen Achse ist nicht lesbar, da er rotiert ist. Außerdem sind die vertikalen Achsenlabels schlecht lesbar, da sie zu nahe zusammen stehen und nicht an den Markierungen ausgerichtet sind. Aufgrund der geringen Auflösung bei der Prägung sind besonders die dreieckigen und rautenförmigen Datenpunkte schwer unterscheidbar. Nicht leicht voneinander zu trennen sind auch die Achsen und

2 Diagramme für blinde Nutzer

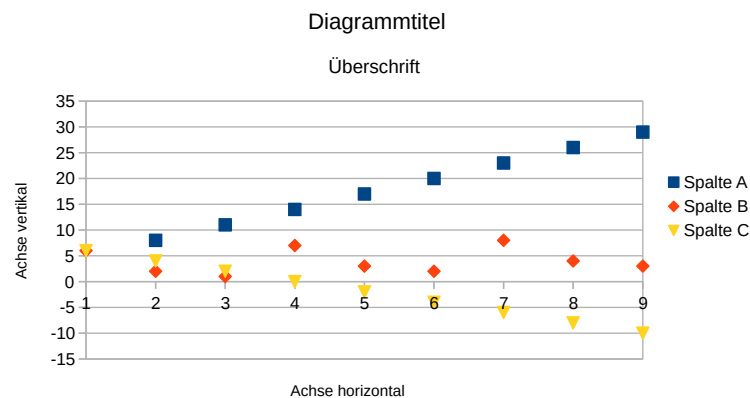


Abbildung 2.5: Beispiel für ein visuelles Diagramm

das Gitter, da sie den gleichen Linienstil verwenden.

Eine konsistente und nutzerfreundliche Gestaltung für taktile Diagramme sollte diese Mängel beheben, ohne sich zu sehr von der gezeigten Darstellung zu unterscheiden. Die Guidelines schlagen jedoch teilweise unterschiedliche Darstellungsformen vor. Um innerhalb der Institution konsistent zu bleiben, werden in dieser Arbeit in solchen Fällen die Guidelines von Prescher und Bornschein [PB16] bevorzugt. Im Folgenden werden Richtlinien zu den einzelnen Elementen von Diagrammen beschrieben. Daraufhin wird ein Vorschlag erarbeitet, wie das Diagramm aus Abbildung 2.5 taktil umgesetzt werden könnte.

Titel

Meist ist das erste Element, das zum Verständnis eines Diagramms gelesen wird, der Titel. Dieser steht links über dem Diagramm und beginnt wenn vorhanden mit der Abbildungsnummer [PB16, S. 7]. Er sollte möglichst aussagekräftig sein, um den Lesern eine Vorstellung zu geben, was in der folgenden Grafik dargestellt wird. Darunter folgt nach einer Leerzeile das Diagramm [Bra10, 5.3.1]. Der Titel sollte in der Legende wiederholt werden (außer die Legende befindet sich direkt neben der Grafik) und ebenso die Beschreibung einleiten [PB16, S. 4,21]

Achsen

Achsen sind bei Punkt-, Linien- und Balkendiagrammen zwei zueinander senkrechte sich schneidende Linien. Sie können mit einem Titel, Markierungsstrichen, optional mit Labels beschriftet, sowie im kartesischen Koordinatensystem mit Pfeilen versehen sein.

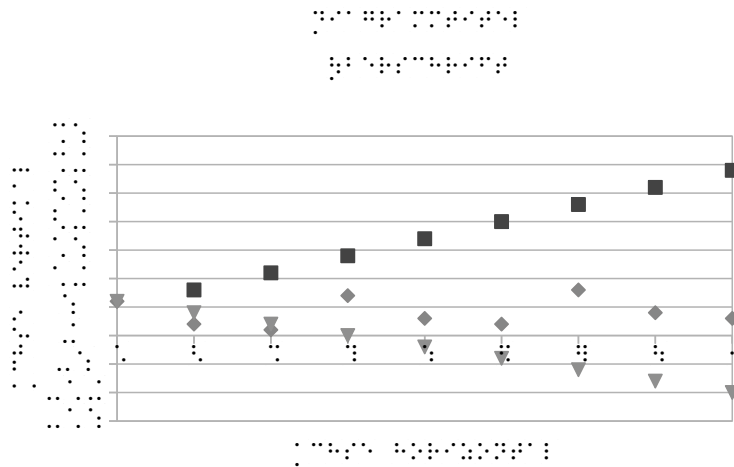


Abbildung 2.6: Das Diagramm aus Abbildung 2.5, naiv für die Prägung übersetzt, ausgerichtet auf DIN A4, Querformat. Die Legende wurde weggelassen und müsste separat bereitgestellt werden.

- Die Achsen sollten 1mm dick sein [PB16, S. 16]
- Markierungsstriche sollten hinzugefügt werden, wenn dies auch in der visuellen Version geschieht. Nicht nötig sind sie, wenn ein Gitter dargestellt wird. Sie sollten auf beiden Seiten um 6mm überstehen [Bra10, 6.6.4.4]
- Labels sollten an den Markierungsstrichen ausgerichtet sein [Bra10, 6.6.4.5]
- Labels sollten kurz sein und wenn nötig mit 2-3 Buchstaben abgekürzt werden. Die Abkürzungen sollten in den Schlüssel in der Legende aufgenommen werden [PB16, S. 18]
- Der horizontale Achsentitel sollte unter dem ersten horizontalen Label von links ausgerichtet sein. Der vertikale Achsentitel sollte über der Achse stehen und an dem am weitesten links stehenden vertikalen Label ausgerichtet sein [Bra10, 6.6.4.5]

Zusätzlich können die Achsen jeweils auf beiden Seiten des Diagramms abgebildet werden. Aldrich und Parkin [AP87] untersuchen die Vor- und Nachteile dieses Ansatzes und kommen zu dem Ergebnis, dass im Fall von Liniendiagrammen eine Achsendopplung keinen Einfluss auf die Lesegeschwindigkeit hat. Jedoch fallen bei gedoppelten Achsen die Fehlerraten bei Aufgaben, die das Ablesen und Vergleichen von Werten erfordern, deutlich geringer aus. Eine Achsendopplung sollte also in Betracht gezogen werden.

Gitter

Ein Gitter hilft, die Koordinaten der Elemente des Diagramms abzulesen. Verfolgt der Nutzer die Gitterlinien, kann direkt an der Achse der Wert gefunden werden. Jedoch erhöht ein Gitter auch die Komplexität. Elemente des Diagramms könnten sich nicht mehr so leicht vom Hintergrund trennen lassen. Diese Thesen bestätigen Aldrich und Parkin [AP87]. In ihren Versuchen beantworten Testpersonen unter der Verwendung eines Gitters Fragen, die das Ablesen und Vergleichen von Werten erfordern, mit einer geringeren Fehlerrate. Fragen, welche die allgemeine Gestalt der Linien betreffen, werden dahingehend durch ein Gitter nicht besser beantwortet als ohne. Jedoch benötigen die Testpersonen, wenn ein Gitter dargestellt wird, eine längere Zeit zum Antworten, als bei Liniendiagrammen ohne Gitter.

Das Gitter ist in den Versuchen von Aldrich und Parkin sehr prominent. Um den Leser nicht zu verwirren und es ihm leichter zu machen, die Daten zu erkennen, sollten die Gitterlinien der unauffälligste Linientyp sein und mit Gitterquadraten, die größer als 1cm sind, dargestellt werden [PB16, S. 17]. So lässt sich die Erkennung der Gestalt des Dargestellten vereinfachen. Ein Gitter sollte außerdem nur dort eingesetzt werden, wo es dem Leser hilft, Werte abzulesen. Beispielsweise sind wie auch in visuellen Diagrammen in einem Balkendiagramm Gitterlinien in Richtung der Balken überflüssig, da die Balken es bereits ermöglichen, die Achse und somit den zugehörigen Wert zu finden. Senkrecht zu den Balken können jedoch Gitterlinien gezeichnet werden [Bra10, 6.6.6.3]

Daten

Als wichtigstes Element des Diagramms sollten die Daten besonders prominent gestaltet werden. In den drei in dieser Arbeit behandelten Diagrammformen werden Daten durch Punkte, Linien und Balken dargestellt. Die genaue Darstellung der Daten variiert je nach der Anzahl der Datenreihen, der Werte pro Reihe und der gewünschten Aussage des Diagramms. Gibt es zum Beispiel in einem Punktdiagramm zwei oder mehr verschiedene Datenreihen, so müssen die Punkte unterscheidbar sein. Dazu sind aufgrund der geringen Auflösung große Symbole nötig [PB16, S. 13]. Sollen jedoch sehr viele Punkte einer einzigen Datenreihe dargestellt werden und die Aussage des Diagramms qualitativ sein, soll also die Punktdichte präsentiert werden, können kleinere Symbole verwendet werden. Nachfolgend werden die allgemeinen Richtlinien für Elemente, die Daten repräsentieren, zusammengefasst.

Punkte

Punkte bestehen aus je einem Wertepaar, das durch ihre Position im Diagramm wiedergegeben wird. Für sie gelten folgende Regeln:

- Sollten Punkte klar voneinander unterscheidbar sein, d.h. werden sie durch distinkte Formen wie Dreiecke dargestellt, sollte eine Seite eine Mindestlänge von 1,3cm besitzen [PB16, S. 13]
- Ein Mindestabstand zu anderen Symbolen sollte eingehalten werden (Schwellpapier: 3mm, Tiger Embosser: 6mm) [PB16, S. 13]
- Sollte der Mindestabstand jedoch die Verteilung der Punkte verzerren, weil die Punkte zu nahe zusammen liegen, sollten sich die Punkte stattdessen überlappen [Bra10, 6.6.5.7]

Linien

Um die Unterscheidbarkeit von Linien zu gewährleisten, gibt es zwei Möglichkeiten: Variationen in der Dicke und Verwendung eines Linienmusters. Da die Achsen bereits 1mm dick sind, sollten weitere Linien dicker sein. Eine Liste verwendbarer Linienstile schlagen Prescher und Bornschein [PB16, S. 28] vor. Wichtig ist, dass Linien zu anderen Linien einen Abstand von mindestens 6mm einhalten [PB16, S. 17], bei Überschneidungen die dickere der beiden Linien unterbrochen wird [PB16, S. 11] und eine Mindestlänge eingehalten wird. Bei Hauptlinien beträgt diese 2,5cm und bei unterbrochenen Linienstilen die dreifache Länge des Musters [PB16, S. 16].

Flächen, Balken

Flächen werden in dieser Arbeit für die Darstellung von Balken eines Balkendiagramms verwendet. Grundsätzlich sollte beim Füllen von Balken mit taktilen Texturen folgendes beachtet werden:

- Je nach Feinheit der Textur sollten die Balken mindestens 1,3cm bis 2cm breit sein [PB16, S. 14]. Die maximale Breite darf 2,5cm betragen [Bra10, 6.6.6.7]
- Die Textur sollte einen Abstand von 2mm zur Konturlinie aufweisen [PB16, S. 14]
- Haben die Balken keine Textur, zum Beispiel wenn das Diagramm qualitative Informationen geben soll, wie bei einem Histogramm, so können sie auch

kleiner sein [Bra10, 6.6.6.7]. Texturen sollten jedoch bevorzugt werden, da sie es erleichtern, die Balken zu identifizieren [EW17]

- Verwendete Texturen sollten sich voneinander leicht unterscheiden lassen [Bra10, 6.6.6.7]. In dieser Arbeit werden die von Prescher und Bornschein [PB16, S. 25-27] vorgeschlagenen Texturen verwendet.

Zusammenfassung

Insgesamt lässt sich zusammenfassen, dass alle Elemente deutlich größer dargestellt werden müssen, als in einer visuellen Grafik. Dies resultiert aus der geringen Auflösung des Tastsinns. Viele der genauen Größenangaben hängen davon ab, welche Aussage die Grafik haben soll und welche Daten dargestellt werden. Die optimale Darstellung von Texturen und Linien, sowie einige Größen sind außerdem von dem verwendeten Anzeigemedium abhängig. Ein weiteres wichtiges Kriterium ist die Konsistenz des Diagramms. Labels sollten dort stehen, wo der Leser sie erwartet und mehrere Diagramme sollten im gleichen Stil dargestellt werden.

Mit den Richtlinien aus diesem Kapitel lässt sich die Darstellung des taktilen Diagramms aus Abbildung 2.6 verbessern. In Abbildung 2.7 sind der Diagrammtitel und die Achsentitel entsprechend der Guidelines ausgerichtet. Die Achsen sind einschließlich ihrer Markierungen deutlich erkennbar, während das Gitter nur noch fein dargestellt ist. Die vertikale Achse ist gröber abgestuft, die Beschriftungen sind an den Markierungen ausgerichtet und besser voneinander zu trennen. Die Symbole sind vergrößert und damit besser unterscheidbar, außerdem unterbrechen sie andere Elemente.

Problematisch ist dagegen weiterhin, dass sich die Datenpunkte überschneiden. Möglicherweise könnte hierbei die Darstellung als Liniendiagramm Abhilfe schaffen. Das Aufteilen in mehrere Diagramme ist ein weiterer denkbarer Ansatz. Außerdem steht aufgrund der negativen Werte auf der vertikalen Achse die horizontale Achse in der Mitte des Bildes, weshalb ihre Beschriftungen keinen Platz finden. Da die Guidelines zumeist davon ausgehen, dass nur der 1. Quadrant des Koordinatensystems genutzt wird, ist es auch hier nötig, eine Lösung zu finden. Ein Ansatz dazu ist die Achsendopplung. Eine andere Möglichkeit ist das Weglassen der Labels, indem diese durch Audiolabels an den Achsenmarkierungen und den Datenpunkten ersetzt werden. Der Einsatz von Audiolabels wird im folgenden Kapitel beschrieben.

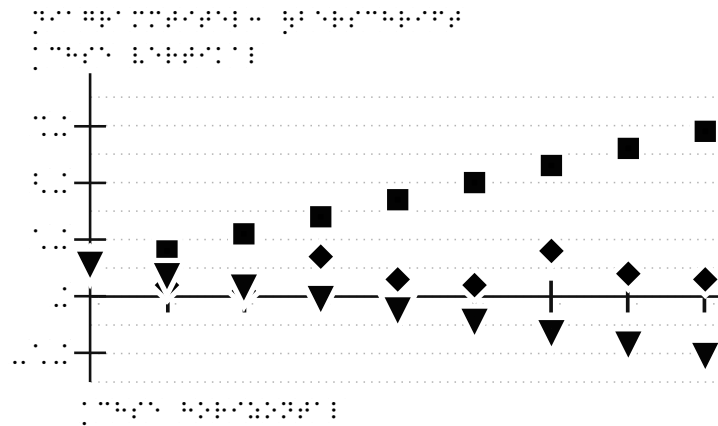


Abbildung 2.7: Das Diagramm aus Abbildung 2.6 unter Anwendung der Gestaltungsrichtlinien. Die Symbole überschneiden sich dennoch, ebenso gibt es keine Labels auf der horizontalen Achse.

2.2.4 Audio-taktil Diagramme

Da zu viele bzw. zu große Labels vom Inhalt des Diagramms ablenken oder keinen Platz haben können, werden einige von ihnen entfernt oder abgekürzt und ihr Text in die Legende ausgelagert. Während ersteres dazu führen kann, dass wichtige Informationen entfernt werden, zwingt letzteres die Leser dazu, die Bedeutung der Abkürzung in der Legende nachzuschlagen und sie sich zu merken. Auch zum Umgehen des zeitaufwändigen und unpräzisen Ablesens sind Beschriftungen aufgrund des Platzbedarfs ungeeignet. Stehen diese bei den Datenpunkten, sind sie schwer zu lesen, wenn ein gepunktetes Gitter vorhanden ist. Die Nutzung von Audio als weitere Modalität hilft, Informationen zu einzelnen Elementen des Diagramms direkt ohne Beschriftungen oder einen Sprung in die Legende zu vermitteln. Dies ermöglicht auch Menschen, die die Brailleschrift nicht lesen können, taktil Diagramme zu nutzen. Dieses Kapitel beschreibt Möglichkeiten, Audio-Labels in taktilen Diagrammen zu verwenden.

Wie auch bei taktilen Grafiken liegt der Ursprung audio-taktile Grafiken in dem Wunsch, Karten zugänglicher zu gestalten. Das erste System, das dies ermöglichte, war 1988 *Nomad*, das von Parkes [Par88] entwickelt wurde. Ziel war, mit Hilfe von Audio-Informationen, die bei Berührung einer auf einem berührungsempfindlichen Tablet angebrachten taktilen Karte zu hören waren, die Komplexität der Darstellung zu verringern und gleichzeitig mehr Informationen zu vermitteln.

Parkes verwendet akustische Signale auf zwei Arten. Einerseits werden mit einem Text-zu-Sprache-System Informationen zu einzelnen Elementen der Karte ausgegeben, andererseits werden auch nonverbale Töne erzeugt. Diese dienen zum Beispiel der Sonifikation von Gradienten. Eine weitere Möglichkeit, akustische Signale zu nutzen, sind *Earcons* [Bla+89]. Es handelt sich dabei um prägnante Klänge, die entweder abstrakt oder natürlichen Klängen nachempfunden sind. Letztere werden auch als *Auditory Icons* bezeichnet. Wie auch ihre visuellen Pendanten, Icons, können Earcons genutzt werden, um durch eine Assoziation eine Information zu vermitteln. Ein Beispiel für Earcons sind die Töne von Computer-Betriebssystemen, die beim Systemstart und weiteren Ereignissen abgespielt werden.

Zwei neuere audio-taktile Systeme sind das *Talking Tactile Tablet* (TTT) von Landau und Gourgey [LG01] und die *ViewPlus IVEO*-Technologie von Gardner et al. [Gar+06]. Das *IVEO Hands-On Learning System*⁶ ermöglicht die Darstellung von statischen Grafiken im SVG-Format, wobei Annotationen als Beschreibungstexte zu den einzelnen Elementen gespeichert werden können. Diese werden bei Berührung durch ein Text-zu-Sprache-System vorgelesen. Das TTT ist auch auf die Erzeugung von Anwendungen ausgelegt. So bietet es neben einem vorgefertigten Atlas und einem Lernprogramm für Geometrie auch ein Geräusch-Memory-Spiel.

In dieser Arbeit werden die Ideen des IVEO-Systems zur Darstellung von audio-taktilen Diagrammen genutzt. Die bereits im SVG-Standard vorgesehenen Annotationen sind ausreichend, um an die gewünschten Elemente interaktiv abrufbare Zusatzinformationen anzuhängen. Insbesondere bei den dargestellten Datenelementen wird es so erleichtert, die genauen Koordinaten bzw. Werte abzulesen. Laut einer Studie von Prescher et al. [Pre+14] sind nur 15% der befragten Personen mit audio-taktilen Grafiken vertraut. Daher wird darauf geachtet, dass die Diagramme auch ohne Audioinformationen nutzbar bleiben, um Nutzern, die kein kompatibles Tablet besitzen, die Nutzung der Diagramme dennoch zu ermöglichen.

Betrachtet man die Erzeugung von audio-taktilen Diagrammen, so ist der erste Schritt dazu die Erzeugung des taktilen Diagramms. Im folgenden Kapitel wird daher beschrieben, wie diese in der Praxis durchgeführt wird und welche Möglichkeiten es gibt, die Erstellung zu erleichtern.

2.2.5 Erstellung taktiler Diagramme

In diesem Kapitel wird zunächst beschrieben, wie heutzutage Einzelpersonen und Institutionen taktile Diagramme bzw. Grafiken allgemein in der Praxis umsetzen

⁶<https://viewplus.com/product/iveo-hands-on-learning-system/>

und welche Probleme dabei auftreten bzw. welche Aspekte als verbesserungswürdig empfunden werden. Daraufhin werden bereits kommerziell verfügbare Lösungsansätze sowie Forschungsprojekte kurz vorgestellt.

Wie aus der Studie von Prescher et al. [Pre+14] hervorgeht, ist das Erstellen von zugänglichen Grafiken aufwändige Handarbeit: Die Mehrheit der blinden bzw. sehbehinderten Ersteller von zugänglichen Grafiken nutzt im Privatgebrauch manuelle Methoden, die aber den Komfort eines Computerprogramms durch die geringen Korrekturmöglichkeiten nicht ersetzen können.

Prescher et al. beschreiben, dass Institutionen, die zugängliche Grafiken erstellen, sich in den meisten Fällen auf Software wie Microsoft Word (für Bildbeschreibungen) oder Corel Draw (für die Erstellung der Grafik) verlassen. Diese Programme bieten keinerlei spezielle Hilfsmittel zur Gestaltung von taktilen Grafiken. Komplexere Objekte werden meist bei jeder Verwendung neu erstellt, während einmal definierte Flächen- und Linienmuster oft wiederverwendet werden. Eine Unterstützung in der Erstellung von Grafiken und dabei insbesondere eine Wiederverwendung existierender Elemente und Templates ist daher nötig. Der gesamte Arbeitsfluss (eine bis mehrere Stunden [Lad+05]) ist zeitaufwändig.

Laut Prescher et al. setzt sich der Arbeitsfluss folgendermaßen zusammen: In vielen Fällen wird mit einer Textverarbeitungssoftware zunächst eine Beschreibung erstellt und danach mittels einer Bildverarbeitungssoftware die Grafik vorverarbeitet und vollendet. Erst danach findet ein Probedruck mit einer Evaluation durch blinde Nutzer statt, die häufig jedoch nur stichprobenartig durchgeführt wird. Die Erstellung geschieht meist durch Personen ohne fachliche Schulung und ohne Einwirken blinder Menschen. Eine Vereinfachung dieses Prozesses durch die automatisierte Beachtung der Gestaltungsregeln kann die Erstellung beschleunigen. Freigewordene zeitliche Ressourcen können damit in die Qualitätssicherung investiert werden.

Eine solche Nutzerführung kann wiederum auch blinden Erstellern von Grafiken zugute kommen, da für sie grafische Gestaltungsprozesse schwierig zu handhaben sind. Als weitere Komponente kann die Anfertigung einer Beschreibung teilweise automatisiert werden, wodurch auch eine einheitliche Form eingehalten wird. Außerdem ermöglicht eine weitgehende Automatisierung der Erstellung der taktilen Grafik eine schnelle Kontrolle der Ergebnisse auf einem taktilen Display oder durch Probedrucke. Durch den digitalen Prozess sind Änderungen leicht durchzuführen, was nicht nur Korrekturen, sondern auch das kollaborative Arbeiten an einer Grafik mit blinden, sehbehinderten und sehenden Erstellern ermöglicht.

Es gibt bereits Systeme, die einige Teile der Erstellung taktiler Grafiken vereinfachen. Grob lassen sich diese in zwei Kategorien einteilen. Einerseits gibt es Systeme, die als Ansatz die Transkription von visuellen Grafiken in taktile

Grafiken wählen. Somit wird der Zugang zu visuellen Grafiken ermöglicht. Diese Lösung ist jedoch nicht geeignet, um Grafiken von Grund auf zu erstellen. Andere Systeme setzen auf eine weitgehend automatische Erzeugung von Grafiken aus Rohdaten. Dieser Weg ist besonders bei Diagrammen vorteilhaft und kann blinden und sehbehinderten Menschen ermöglichen, selbständig eigene Grafiken zu erstellen.

Ein System zur Transkription von mit Microsoft Word bzw. Excel erstellten Dokumenten in taktile Grafiken ist die *Viewplus Tiger Software Suite*⁷. Bemerkenswert ist dabei die Unterstützung für Diagramme aus Excel-Tabellen. Zusätzlich können komplexere taktile Grafiken erzeugt werden. Die Bedienung ähnelt der eines Zeichenprogramms. Optional kann dazu eine visuelle Vorlage, die weiter bearbeitet werden kann, verwendet werden. Dabei werden wenige Graustufen unterstützt, die von taktilen Prägemaschinen auf die Punkthöhe abgebildet werden.

Das *IVEO Hands-On Learning System* (vgl. Kapitel 2.2.4) vereint dazu die automatische Erstellung und Nachbearbeitung von taktilen Grafiken aus existierenden Dokumenten oder der Tiger Software Suite mit der Funktionalität, Audio-Labels hinzuzufügen. Die mit einer Prägemaschine des gleichen Herstellers optional mit zusätzlichem Farbdruck gedruckten Grafiken können dann auf einem berührungssensitiven Tablet exploriert werden. Dabei können die Audio-Labels bei Berührung vorgelesen werden. Durch die Verwendung des SVG-Formats können auch beliebige Vergrößerungen ausgedruckt werden, um Details zu erforschen.

Diese Lösungen erleichtern die Erstellung von audio-taktilen Grafiken, haben jedoch gerade aus der Sicht blinder Ersteller Nachteile (siehe Handbücher der Tiger Software Suite [Vie16] und des zum Hands-On Learning System gehörenden IVEO Creator [Vie10]): Einerseits werden bei der Transkription die ursprünglichen Grafiken ohne Berücksichtigung ihres Inhalts konvertiert. Eine Nachbearbeitung ist daher in den meisten Fällen nötig. Hierbei fehlt blinden Nutzern ein direktes Feedback. Wird ein Diagramm mit Excel erstellt, muss dieses ebenfalls zunächst für sehende Nutzer erstellt werden und kann dann konvertiert werden. Auch hierbei ist selbst bei einem einfachen Diagramm Nachbearbeitung erforderlich⁸. Eine Legende wird nicht erstellt. Außerdem müssen Audio-Labels komplett manuell hinzugefügt werden. Der Ansatz, ein Plugin für Excel oder LibreOffice Calc zu erstellen, wird in dieser Arbeit nicht verfolgt, da die Software so wenige Abhängigkeiten wie möglich benötigen soll.

Krufka und Barner [KB05] schlagen als Lösung zur Transkription von Grafiken einen Algorithmus vor, der die Kanten einer SVG-Grafik nach ihrer Bedeutsam-

⁷<https://viewplus.com/product/tiger-software-suite-v6/>

⁸Video mit Beispiel der Erstellung eines Kreisdiagramms mit Nachbearbeitung:
<https://www.youtube.com/watch?v=dfndBvvZpyQ>, aufgerufen am 4.3.2017

keit klassifiziert und mittels eines Grenzwertes nur die wichtigsten von ihnen anzeigt. Ein solcher Ansatz ist hilfreich bei der Umsetzung von Bildern, die als Vektorgrafik vorliegen. Text wird dabei aber nicht beachtet, womit diese Methode für Diagramme ungeeignet ist. Die Vektorgrafik muss trotzdem produziert werden, weshalb dieser Ansatz blinden Erstellern von Diagrammen keine Vorteile bringt.

Ladner et al. [Lad+05] schlagen einen auf maschinellem Lernen basierten Ansatz zur Übersetzung vor. Der Transkriptionsprozess einer als Pixelbild vorliegenden Grafik soll weitgehend automatisiert werden, sodass nur noch Anpassungen wie zum Beispiel die Texturwahl von Hand geschehen müssen. Die automatischen Prozesse beinhalten Bildklassifikation, Textextraktion und -konvertierung und Layouttransformation. Dieses Verfahren könnte durch weitere zukünftige Verbesserungen den Prozess, visuelle Grafiken in taktile Grafiken zu konvertieren, vereinfachen. Eine Erweiterung um Audio-Labels könnte die Ergebnisse noch verbessern.

Algorithmen, die eine automatische Transkription von visuellen Grafiken ermöglichen, können sehenden und blinden Menschen helfen, taktile Versionen existierender Diagramme zu erzeugen. Damit haben sie das Potential, den Zugang zu visuellen Grafiken zu vereinfachen. Insbesondere bei Online-Material, dessen Textbestandteile sich bei einer barrierefreien Webseite leicht über eine Braillezeile ausgeben lassen, könnten so zusätzliche unzugängliche Bildmaterialien leichter dargestellt werden. Blinde Menschen, die Grafiken selbst erstellen möchten, benötigen jedoch weitere Hilfsmittel.

Eines davon ist das *Tactile Chart Generation Tool* von Goncu und Marriott [GM08]. Es dient der halb-automatischen Erzeugung von taktilen Balken- und Kreisdiagrammen aus reinen Textdaten. Der Nutzer kann aus verschiedenen Stilen der Darstellung auswählen. Die Diagramme werden gemäß einer Reihe von Gestaltungsregeln erstellt. Diese wurden durch Testpersonen, die mit der Erzeugung von taktilen Diagrammen Erfahrung haben, in der Praxis getestet. Wie Goncu und Marriott schreiben, stößt das Tool auf positives Feedback, da es den Transkriptionsprozess stark beschleunigt und die Qualität einer manuellen Transkription nahe kommt. Die Entwicklung des Tools wird nicht weiterverfolgt. Nicht ausgeführt werden die Tauglichkeit zur kooperativen Erstellung von Diagrammen, auch sind die Ergebnisse nur für blinde aber nicht für sehende oder sehbehinderte Nutzer geeignet. Audio-Labels werden nicht erzeugt.

Watanabe et al. [Wat+16] entwickelten eine Onlineapplikation, die *Tactile Graph Generation Software*⁹, mit der Punkt-, Linien-, Balken- und Kreisdiagramme aus CSV-Daten automatisch erzeugt werden können. Unterstützt wird jeweils eine Datenreihe, aus der ein vollständiges Diagramm mit Labels, Achsen

⁹<http://tmacs.eng.niigata-u.ac.jp/graph/Graph/>, aufgerufen 4.3.2017

und einem optionalen Gitter erzeugt wird. Die Labels können sowohl in Brailleschrift als auch in Druckschrift erzeugt werden, sodass die Diagramme auch von sehenden Menschen verwendet werden können. Die mit dieser Methode erzeugten taktilen Diagramme sind für den Druck auf Schwellpapier optimierte Rastergrafiken.

Die *Tactile Graph Generation Software* ist somit die umfangreichste Lösung zur Erzeugung von Diagrammen von und für blinde Menschen. Eine Kenntnis der Gestaltungsrichtlinien ist zur Nutzung nicht nötig, es können aber fehlerhafte Darstellungen erzeugt werden, ohne dass der Nutzer gewarnt wird. Insbesondere ist es möglich, überlappende Labels zu erzeugen. Auch die Limitierung auf eine einzige Datenreihe und die eingeschränkte Wahl an Darstellungsformen, sowie das Fehlen einer Legende (die bei diesen einfachen Darstellungen auch nicht nötig ist) sind Punkte, die verbesserungswürdig sind.

In Tabelle 2.2 werden die vorgestellten Lösungen kurz verglichen. Jede davon vereinfacht in einem gewissen Maße die Erzeugung taktiler Diagramme. Die Programme zur Transkription von visuellen Diagrammen haben den Nachteil, dass zuerst die Vorlagen erstellt werden müssen und oft das Ergebnis nachträglich justiert werden muss. Daher sind sie von blinden Menschen nur eingeschränkt verwendbar. Die Lösungen zur Erzeugung taktiler Diagramme aus Textdaten geben blinden Menschen die Möglichkeit, selbst Diagramme zu erstellen, sind jedoch noch zu unflexibel: Nur wenige Darstellungsformen werden unterstützt, eine nachträgliche Stilanpassung ist bei der Lösung von Watanabe et al. [Wat+16] nicht möglich, das Ergebnis ist auf Schwellpapier angepasst.

Da es somit weiterhin aufwändig bleibt, taktile Grafiken zu erzeugen und dies besonders für blinde Menschen schwer ist, werden im folgenden Kapitel Anforderungen an eine Software, welche die Prinzipien des *Tactile Chart Generation Tools* [GM08] und der *Tactile Graph Generation Software* aufgreifen und verbessern soll, beschrieben. Basierend darauf wird die Open-Source-Anwendung *SVGPlott* der TU Dresden um Punkt-, Linien- und Balkendiagramme erweitert.

| Eingabe | | Ausgabe | Diagrammtypen | Zugänglichkeit |
|---|-----------------------------------|---|--|---|
| IVEO | MS Word/Excel-Datei, Rastergrafik | SVG, auch mit Audio-Labels | Punkt-, Linien-, Balken-, Kreisdiagramme usw. | nur sehende Ersteller, visuelle Vorlage, taktiler Ergebnis |
| | SVG-Grafik | Rastergrafik | Alle Grafiken, aber: keine Semantik, kein Text | sehende, blinde Ersteller, visuelle Vorlage, taktiler Ergebnis |
| Automatische Transkription, Machine learning [Lad+05] | Rastergrafik | taktile Grafik, druckbar mit Tiger Embosser | Linien-, Balkendiagramme, weitere Diagramme | sehende, bis auf Anpassungen auch blinde Ersteller, visuelle Vorlage, taktiler Ergebnis |
| Tactile Chart Generation Tool [GM08] | formatierter Text | SVG | Balken-, Kreisdiagramme | blinde und sehende Ersteller, rein taktiler Ergebnis |
| Tactile Graph Generation Software [Wat+16] | CSV-Daten | Rastergrafik | Punkt-, Linien-, Balken-, Kreisdiagramme | Erstellung und Grafik für blinde und sehende Menschen |

Tabelle 2.2: Vergleich einiger Lösungen zur Erzeugung von taktilen Diagrammen. Im oberen Teil der Tabelle sind Lösungen zur Transkription von bestehenden Diagrammen aufgelistet, darunter befinden sich Lösungen zum Erzeugen von Diagrammen aus Text.

3 Konzeption einer Software zum Erstellen audio-taktiler Diagramme

Wie im vorherigen Kapitel gezeigt wurde, gibt es bisher keine flexible und allgemein verfügbare Lösung zur Erzeugung audio-taktiler Punkt-, Linien- und Balkendiagramme aus Rohdaten. Ziel dieses Kapitels ist es daher, die Anforderungen an eine solche Software sowie die damit erstellten Diagramme zu finden. Zur Beschreibung der Anforderungen werden zunächst gemäß eines vereinfachten szenariobasierten Designs (SBD) [RC02] Problemszenarien der Software ausgeführt. Daraus werden Anforderungen aus Sicht der Nutzer, sowie technische Anforderungen formuliert. Diese stellen die Rahmenbedingung, die bei der Softwareentwicklung erfüllt werden müssen, dar.

Der zweite Teil des Kapitels ist der Vorbereitung zur Darstellung audio-taktiler Diagramme gewidmet. Ziel ist es, zunächst das Grundgerüst jedes Diagramms, also Achsen und das Gitter, zu erarbeiten. Ebenso wird die Realisierung von Text- und Audio-Beschriftungen erläutert. Weitere allgemeine Aspekte sind der Umgang mit Farben, sodass diese auch für blinde Menschen zugänglich werden, sowie die Erstellung der Legende und Bildbeschreibung.

Im dritten Teil werden die einzelnen Aspekte der Darstellung audio-taktiler Punkt-, Linien- und Balkendiagramme erläutert. Es werden verschiedene Darstellungsformen, Herausforderungen und Grenzen hervorgehoben. Außerdem werden Hilfsmittel, die zusätzlich bestimmte Eigenschaften der Daten hervorheben und verdeutlichen, beschrieben.

3.1 Anforderungen an die Software

Der erste Schritt der Softwareentwicklung ist neben der Recherche zum Thema die Spezifikation der Anforderungen [Sta15, S. 38]. Der zukünftige Nutzer der Software hat bestimmte Vorstellungen von ihrer Funktion, aber auch andere Faktoren, wie die Frage, ob eine Open-Source-Lizenz verwendet werden soll, die Hardwareunterstützung, existierende Frameworks oder Anforderungen an die Erweiterbarkeit, beeinflussen die Softwareentwicklung maßgeblich.

Um die Anforderungen zu spezifizieren, werden daher zunächst in Kapitel 3.1.1 informelle Problemszenarien vorgestellt. Dies hilft, eine Voreingenommenheit, also die Fixierung auf Teillösungen zu reduzieren und die Praxistauglichkeit der gewählten Ansätze zu berücksichtigen. Der Nutzer steht im Zentrum des Entwurfs und wird mit seinen Vorstellungen, Fertigkeiten und seinem Kontext miteinbezogen. Zusätzlich werfen Szenarien weitergehende Fragen auf, die bei einem Ansatz, der die schnelle Wahl einer Lösung bevorzugt, womöglich nicht auftreten [RC02].

Auf Grundlage der formulierten Problemszenarien werden die Anforderungen isoliert und weiter ausgeführt. Es wird eine Aufteilung in zwei Sichten gewählt: Aus der Sicht der Nutzer werden in Kapitel 3.1.2 alle Anforderungen beschrieben, die zur Lösung der in den Szenarien vorkommenden Probleme nötig sind. Die technische Komponente der Software wird dabei noch ausgeklammert und in dem darauffolgenden Kapitel 3.1.3 beschrieben. Hierbei werden auch Fragestellungen zur praktischen Erweiterung der Software geklärt.

3.1.1 Problemszenarien

Rosson und Carroll beschreiben Szenarien als Skizzen, als konkrete aber grobe Texte, die keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben. Szenarien erzählen eine Handlungsgeschichte eines oder mehrerer Nutzer und sollen im Entwicklungsprozess die Möglichkeiten der Software klarer darstellen. Sie dienen der Vermeidung einer zu schnellen Lösungsfindung und erlauben, Teilaspekte der Interaktion in den Designprozess einzubeziehen. Auch sind sie ein Mittel zur Kommunikation der Architektur, da sie anschaulicher als eine abstrakte Architekturbeschreibung sind.

Rosson und Carroll betten Szenarien in alle Stadien der Softwareentwicklung von der Analyse über das Design bis hin zur Evaluation ein. Da dies den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde, werden lediglich Problemszenarien genutzt, um eine genaue Vorstellung der zukünftigen Nutzer, den Fertigkeiten, die sie mitbringen, ihren Wünschen und dem Kontext, in dem sie stehen, zu erhalten. Auf dieser Grundlage werden Anforderungen bzw. Rahmenkonzepte entworfen und beschrieben, wie die Software genutzt werden kann. Vor allem soll der Praxisbezug der einzelnen Features dargestellt werden.

Nachfolgend werden Problemszenarien beschrieben, die zur Konzeption der Anwendung zur Erstellung audio-taktile Punkt-, Linien- und Balkendiagramme beitragen. Die darin vorkommenden Personen und ihre Geschichten sind zum Zweck der Anforderungsanalyse erfunden.

Szenario 1: Facebook-Seitenstatistiken

Anna ist von Geburt an blind und betreibt eine Facebook-Seite, auf der sich blinde Menschen austauschen und vernetzen können. In letzter Zeit verzeichnete die Seite einen großen Nutzerzuwachs. Da Anna mehr über ihre Nutzer erfahren möchte, verwendet sie Daten aus den Seitenstatistiken, die sie als Excel-Dateien exportieren kann¹. Leider ist es mühsam, sämtliche Daten mittels eines Screenreaders oder einer Braille-Zeile vorlesen zu lassen. Die in Excel integrierten Such- und Sortierfunktionen helfen ihr zwar beispielsweise, Beiträge mit besonders vielen oder wenigen Likes zu finden, jedoch möchte sie auch den Gesamtverlauf der Daten leicht erfassen können.

Ein Bekannter hat Anna geholfen, einige der Datensätze als taktils Diagramm darzustellen - zum Beispiel die täglichen Nutzerzahlen als Liniendiagramm oder die demografischen Daten (Alter und Geschlecht) in Form von Balkendiagrammen. Die Diagramme hat Anna mit einer Prägemaschine auf Papier gedruckt.

Da Anna gerne verschiedene technische Geräte ausprobiert, besitzt sie auch ein Talking Tactile Tablet und möchte damit zusätzliche Audioinformationen nutzen, um das Nachschlagen in der Legende zu vermeiden. Außerdem kann sie damit bei den Liniendiagrammen schnell Werte ablesen. Sie findet jedoch keine einfache Möglichkeit, selbst audio-taktile Diagramme zu erstellen.

Beim genaueren Untersuchen des Liniendiagramms mit den Nutzerzahlen stellt Anna fest, dass sie oft der Linie schlecht folgen kann, da die Zahlen eine sehr hohe Varianz besitzen. Sie würde gerne eine Trendlinie nutzen, um neben den genauen Werten auch den groben Verlauf der Daten abzulesen.

Szenario 2: Mathematikunterricht in der Grundschule

Bernd ist Mathematiklehrer in einer Integrationsklasse einer bayrischen Grundschule. In der vierten Jahrgangsstufe lernen die Schüler u.a. wie Daten erfasst und strukturiert dargestellt werden können². Teil des Unterrichts sind auch verschiedene Diagrammart. In Bernds Klasse befindet sich ein blinder Schüler, Carsten. Zwar hat Bernd Zugang zu einigen angepassten Lehrmaterialien wie taktilen Diagrammen, die zu denen im Lehrbuch äquivalent sind, jedoch möchte er gerne eigene Materialien verwenden, zu denen die Schüler einen größeren Bezug haben. Da es wahrscheinlich ist, dass Bernd in der Zukunft auch sehbehinderte Schüler unterrichten wird, die eine spezielle Farbdarstellung benötigen, möchte er gerne die Diagramme durch eine reine Stilanpassung wiederverwenden.

¹<https://www.facebook.com/help/268680253165747>

²Lehrplan: <http://www.lehrplanplus.bayern.de/fachlehrplan/grundschule/4/mathematik>, aufgerufen am 28.3.2017

3 Konzeption einer Software zum Erstellen audio-taktile Diagramme

Außerdem möchte Bernd, dass Carsten so wie die anderen Schüler Diagramme selbst herstellt. Da Bernd mit seiner Klasse dazu neben der Erstellung von Hand auch das in den Computerräumen der Schule installierte LibreOffice nutzen möchte, sucht er eine passende Möglichkeit, Carsten in diese Aktivität zu integrieren. Der Ausdruck digital erzeugter taktiler Grafiken würde durch Schwellpapier sowie die schuleigene Prägemaschine ermöglicht.

Szenario 3: Machine Learning an der Universität

Doris ist eine blinde Doktorandin an der Informatikfakultät einer Universität. Sie ist an der Lehrstuhlgruppe für Machine Learning tätig und forscht an Verfahren zur Klassifikation von menschlichen Bewegungsmustern aus Videos. Um Daten und Trainingsergebnisse, die sie im CSV-Format erhält, für sich selbst zu visualisieren und ihren Kollegen zu präsentieren, benötigt sie Balken- und Punktdiagramme.

Sie würde die visuellen Diagramme, die sie zur Präsentation nutzt, gerne selbst erstellen und in einer taktilen Version kontrollieren können. Dazu steht ihr eine Stiftplatte zur Verfügung.

Wichtig ist ihr dazu, dass sie mehrere Versionen des gleichen Punktdiagramms erstellen kann, bei denen bestimmte Datenreihen ausgeblendet sind, sowie dass sie ausgewählte Bereiche vergrößert darstellen kann. Die Versionen zur Präsentation können dagegen alle Datenreihen enthalten, wobei diese durch Farbe voneinander unterscheidbar sind.

Szenario 4: Online-Portal für Statistik

Erik arbeitet bei einem Online-Portal für Statistik. Sein Arbeitgeber stellt eine große Menge statistischer Daten und Meinungsumfragen in verschiedenen Formen bereit, unter anderem als Linien- und Balkendiagramme, die teilweise kostenfrei zugänglich sind.

Erik wird mit der Aufgabe betraut, in seinem Team ein Konzept zu erarbeiten, wie die bereitgestellten Daten auch in einer für blinde bzw. sehbehinderte Menschen zugänglichen Form dargestellt werden können. Das Team entscheidet sich für taktile Diagramme, ist sich jedoch nicht über die Herstellung einig. Wichtig sind ihnen besonders zwei Aspekte: Eine möglichst schnelle, automatische Erstellung ist nötig, um die Kosten gering zu halten. In Hinblick auf die verschiedenen möglichen Ausgabegeräte der Nutzer ist auch eine nachträgliche Stilanpassung durch diese nötig.

In einem weiteren Treffen des Team kommt die Frage auf, ob es eine Lösung gibt, die Diagramme auch für Menschen, die die Braille-Schrift nicht lesen können, zugänglich zu machen.

3.1.2 Anforderungen aus Sicht der Nutzer

Aus den Problemszenarien lassen sich nun Anforderungen ableiten. Um dem nutzerzentrierten Ansatz zu folgen, werden zunächst die Anforderungen aus Sicht der Nutzer an die Software und die Diagramme beschrieben. In Kapitel 3.1.3 werden zusätzlich technische Anforderungen an die Software formuliert.

Zunächst stellt sich die Frage nach der Nutzergruppe der Software. Diese besteht wie zu Beginn von Kapitel 2 beschrieben aus blinden, sehbehinderten und sehenden Erstlern. Wie in den Szenarien ersichtlich wird, können diese die Software in verschiedenen Kontexten, also privat, institutionell oder kommerziell verwenden. Um eine Verbreitung und Weiterentwicklung der Software auch im kommerziellen Rahmen zu ermöglichen sollte somit eine möglichst *freie Open-Source-Lizenz* verwendet werden.

Ebenso wie die Ersteller der Diagramme können auch die Leser blind, sehbehindert oder sehend sein. Entsprechend sollte für jede dieser Nutzergruppen eine *angepasste Darstellung* wählbar sein. Zusätzlich ist zu bedenken, dass sie verschiedene Geräte nutzen, um die Diagramme anzuzeigen oder zu drucken. Aus diesen Gründen ist es wichtig, eine *Auswahl an gerätespezifischen Diagrammstilen* vorzudefinieren, es aber auch zu ermöglichen, *eigene Stile* für bisher noch nicht abgedeckte Geräte oder persönliche Präferenzen zu definieren. Als weitere Anforderung sollte es möglich sein, in Diagrammen Farben zu nutzen, ohne die Zugänglichkeit einzuschränken. Für blinde bzw. sehbehinderte Menschen sind daher eine *Vereinfachung bzw. Automatisierung der Farbwahl*, sowie eine zugängliche *alternative Farbdarstellung* nötig.

Für automatisierte Anwendungen wie in Eriks Unternehmen aus Szenario 4 sollte die Software als *Kommandozeilenanwendung* nutzbar sein. Dies ermöglicht zum Beispiel die Nutzung über einen Webserver. Dadurch können auch die Bedürfnisse technisch versierter Nutzer, die eine Kommandozeilenanwendung gegenüber einer grafischen Oberfläche bevorzugen, berücksichtigt werden. Eine *zugängliche grafische Oberfläche* (GUI) ist zwar vorgesehen, würde aber den Rahmen dieser Arbeit sprengen.

In Hinblick auf die automatisierten Anwendungen sollte es auch möglich sein, *verschiedene Konfigurationen* zu speichern und zu nutzen. Dies ist auch für Nutzer, die häufig Diagramme ähnlicher Gestalt erstellen, wie zum Beispiel Anna aus Szenario 1, von Vorteil. Um eine *schnelle Erlernbarkeit* für Einsteiger wie Bernds Schüler Christian aus Szenario 2 zu ermöglichen, sollten sinnvolle *Standardstellungen* und *Automatismen*, um zum Beispiel bei Bedarf den Wertebereich an die Daten anzupassen, bereitgestellt werden.

Nutzer, die keine Stiftplatte besitzen, können die erzeugten Diagramme nicht sofort anzeigen und überprüfen. Sollten Darstellungsfehler entstehen, die dazu führen, dass bestimmte Elemente des Diagramms nicht oder schlecht ertastbar

sind, merken sie dies erst nach dem Druck. Unter Umständen kann dies zu längeren Korrekturschleifen führen. Daher ist es wichtig, die Nutzer bereits während der Erstellung über eventuelle *Darstellungsprobleme* zu informieren.

Eine weitere Anforderung sind *zusätzliche Hilfsmittel* zu den Diagrammen, mit denen das Ablesen und die Interpretation der Daten erleichtert werden kann. In Annas Fall (Szenario 1) ist dies die *Trendlinie*, die nach verschiedenen Vorschriften berechnet werden könnte. Für Doris Punktdiagramme (Szenario 3) könnten die Anzeige des *Mittelpunkts* jeder Punktwolke sowie der *Hauptkomponenten* eine Hilfe zur Interpretation sein. Bei Balkendiagrammen können auch *Sortierfunktionen* hilfreich sein. Somit lassen sich zum Beispiel der größte oder kleinste Wert ermitteln sowie Verhältnisse zwischen den Balken leicht schätzen.

Sowohl für Nutzer, die das Lesen der Braille-Schrift nicht beherrschen, als auch für Nutzer, die wie Anna in Szenario 1 interaktive Diagramme benutzen möchten, sind *Audio-Labels* wichtig. Diese sollten alle Beschriftungen wiedergeben sowie die Datenpunkte markieren.

Die aus den Szenarien abgeleiteten Anforderungen stellen Rahmenbedingungen für die zu entwickelnde Software dar. Zusammengefasst sind dies:

- Zugänglichkeit der Software und Diagramme
 - freie Open-Source-Lizenz
 - verschiedene an Nutzerbedürfnisse bzw. Hardware angepasste Darstellungsformen, durch Nutzer anpassbar
 - schnelle Erlernbarkeit
 - Audio-Labels
 - Hilfen zur Farbwahl, zugängliche Farbdarstellung
- Bedienbarkeit der Software
 - Kommandozeilenanwendung, Erweiterung um zugängliche GUI möglich
 - speicherbare Konfigurationen
 - vordefinierte Standardeinstellungen, bei Bedarf überschreibbar
 - selektive Darstellung der Daten
 - Warnungen bei Darstellungsproblemen
 - Hilfsmittel: Trendlinie, Sortierfunktionen, ...

Weitere Anforderungen entstehen auf technischer Seite und werden im folgenden Kapitel beschrieben.

3.1.3 Technische Anforderungen

Technische Anforderungen an die Software sind ebenso wie die Nutzeranforderungen bereits zu Beginn zu beachten, da auch sie wichtige Rahmenbedingungen sind. Teilweise ergeben sie sich bereits aus den Anforderungen der Nutzer. Zu ihnen gehören Fragen wie zum Beispiel nach Datenformaten, nach der Wahl der Programmiersprache, oder inwieweit die Software erweiterbar sein sollte.

Als Grundlage zur Arbeitsweise der Software als Kommandozeilenapplikation ist zunächst die Erläuterung des Begriffs *Filter* nötig. „Filter sind aktive Verarbeitungs- oder Transformationsbausteine, die Eingabedaten über Eingangs-Pipe(s) erhalten, prozessieren und über Ausgangs-Pipe(s) weitergeben.“ [Sta15, S. 105] Bekannt sind Filter durch die Pipe-Befehle in Unix-Shells. Nachfolgend wird ein Beispiel eines Bash-Kommandos gezeigt, das alle Dateien im aktuellen Verzeichnis ausliest, Zeilen, die „TODO“ enthalten extrahiert und das Ergebnis in eine Textdatei schreibt:

```
$ cat * | grep TODO > out.txt
```

Filter bieten den Vorteil, dass sie mit Pipes leicht in Ketten verwendet werden können. Insbesondere für die automatische Erzeugung von Diagrammen durch Skripte ist dies ein sinnvolles Vorgehen. Denkbar wäre zum Beispiel, dass Daten regelmäßig aus einer Quelle bereitgestellt werden und in ein Diagramm umgewandelt werden, welches dann an einen Prozess weitergeleitet wird, der das Diagramm veröffentlicht.

Neben der Nutzung von Pipes sollte es aber auch möglich sein, Ein- und Ausgabedateien mittels Kommandozeilenparametern festzulegen, da dieses Verhalten ebenfalls von vielen Shellprogrammen implementiert wird und somit von den Nutzern erwartet wird.

Im Folgenden werden nun Anforderungen an diesen Filter von außen nach innen betrachtet. Zunächst werden Anforderungen an die Ein- und Ausgabe beschrieben. Danach wird begründet, warum Java als Programmiersprache verwendet wird. Als Basis wird die bereits existierende Software SVGPlott eingesetzt und erweitert, was kurz erläutert wird. Schließlich werden Anforderungen an die Erweiterbarkeit der Software ausgeführt.

CSV als Eingabeformat

Das von Doris in Szenario 3 verwendete *CSV-Format* (Character Separated Values) [Sha05] ist ein rein textbasiertes Format zur tabellarischen Darstellung von Daten. Es ist eine passende Wahl für das Eingabeformat der Daten, da es leicht zu verarbeiten ist, viele Programme den Export ins CSV-Format unterstützen und es sich als Quasi-Standard etabliert hat.

Die Eingabedaten bestehen stets aus den Werten zweier Variablen. Die erste Variable wird durch die horizontale Achse repräsentiert, die zweite Variable durch die vertikale Achse. Daher werden in dieser Arbeit die Bezeichnungen *horizontale* bzw. *vertikale Variable* verwendet. Analog dazu werden ihre Werte als *horizontaler* bzw. *vertikaler Wert* bezeichnet. Die horizontale Variable kann metrisch, ordinal oder nominal sein. Dahingegen werden im Rahmen dieser Arbeit zunächst nur metrische vertikale Variablen betrachtet – in der weiteren Entwicklung kann diese Einschränkung aufgehoben werden.

Verschiedene Eingabedaten können in verschiedenen Formaten vorliegen. Daher muss es für die Struktur des CSV-Formats mehrere Vorgaben geben, die der Nutzer wählen kann. Beispielsweise könnten die Datenreihen entweder horizontal oder vertikal verlaufen – das bedeutet dass im horizontalen Fall die Überschriften der Datenreihen in der ersten Spalte und im vertikalen Fall in der ersten Zeile stehen³. Auch gibt es Fälle, bei denen Daten eine Sequenz mit festen Intervallen beschreiben. Dies ist zum Beispiel bei Zeitreihen der Fall. Die Intervalle müssen dabei nur einmal als horizontale Werte in den Daten festgelegt werden und gelten für alle Datenreihen. Dahingegen besteht jeder Punkt eines Punktdiagramms typischerweise aus den Werten zweier Variablen, ohne dass dabei eine Sequenz entsteht. Daher müssen beide Werte für jeden Punkt gesondert angegeben werden. Welche Eingabeformate für die jeweiligen Diagrammtypen gefordert werden, wird in Kapitel 4.3 ausgeführt.

Es sind auch komplexere Eingabeformate (z.B. XML) denkbar. Daher ist es sinnvoll, eine passende Schnittstelle zu schaffen, die in dieser Hinsicht Erweiterungen zulässt. Auch sollten Vorkehrungen getroffen werden, um über diese Schnittstelle Einstellungen ändern zu können. Auf diese Art könnten sich in einem späteren Entwicklungsstadium komplette Projektdateien erstellen lassen. Dies ist im Hinblick darauf, dass der Software in Zukunft eine grafische Oberfläche hinzugefügt werden kann, ein wichtiger Aspekt.

SVG als Ausgabeformat

An das Ausgabeformat gibt es einige bereits beschriebene Anforderungen: Zum einen sollte es mittels allgemein verfügbarer Software nutzbar sein, da die fertigen Diagrammdateien den Nutzern bereitgestellt werden sollen. Da es verschiedene Ausgabegeräte gibt, sollte der Stil auch im Nachhinein anpassbar sein. Letzteres schließt pixelbasierte Formate wie JPEG aus, da diese keinerlei Semantik enthalten.

³Laut RFC-Standard [Sha05] ist ein Header jedoch nur als erste Zeile erlaubt und somit auch nur eine vertikale Notation. Beim Export aus Excel ist es aber möglich, dass die Nutzer nicht darauf achten. Daher werden beide Möglichkeiten unterstützt.

Ein semantisches Format dahingegen ist das *SVG*-Format (Scalable Vector Graphics) [Sch+11], das auch schon von der IVEO-Software und von Goncu und Marriott [GM08] verwendet wird. Das Vektorgrafikformat SVG basiert auf dem XML-Format und lässt sich somit einfach durch das Document Object Models (DOM) verarbeiten. Alle gängigen Webbrowser unterstützen das Format weitgehend.

Das SVG-Format hat mehrere Vorteile: Es lässt sich die logische Struktur des Diagramms abbilden, wodurch ein späteres Bearbeiten ermöglicht wird [GM08]. Zusätzlich lassen sich die einzelnen Elemente durch Cascading Stylesheets (CSS) visuell anpassen [Eis02, S. 50], was die Erzeugung von gerätespezifischen Darstellungen einschließlich deren nachträglicher Anpassung ermöglicht. Wie zum Beispiel mit der IVEO-Software können zu Elementen ein Titel und eine Beschreibung hinzugefügt werden [Eis02, S. 53]. Diese können dann mittels eines Screenreaders als Audio-Labels ausgegeben werden bzw. ermöglichen das Anzeigen des Titels beim Überfahren mit der Maus. Somit können auch exakte Werte der Datenpunkte abgelesen werden.

Java als Programmiersprache

Zwischen der Ein- und Ausgabe steht die Software als Filter. Um eine weitgehende Kompatibilität mit verschiedenen Betriebssystemen zu ermöglichen, wird die Software in der Programmiersprache *Java* implementiert.

Ein Vorteil von Java ist, dass über das Maven-Repository⁴ eine Vielzahl an Bibliotheken nutzbar sind, die unter der Apache-Lizenz⁵ oder der MIT-Lizenz⁶ stehen und somit sowohl für Open-Source-Software als auch für kommerzielle Lösungen nutzbar sind. Damit wird eine kommerzielle Nutzung der in dieser Arbeit erstellten Software ermöglicht. Die *Java™API for XML processing*⁷ ermöglicht die für die Verarbeitung von SVG-Grafiken nötigen XML-Operationen.

Konfiguration

Da die Software viele Darstellungen unterstützt, sollte sie auch entsprechende Konfigurationsmöglichkeiten bieten. Die Nutzer sollten die Grundparameter, wie den Diagrammtyp, die Datenquelle und das Ausgabegerät wählen können. Jedoch wird es weitere optionale Parameter geben, die zum Beispiel Details der Diagrammgestaltung festlegen. Diese Parameter sollten, wie es bei Shell-Programmen meist der Fall ist, als Kommandozeilenparameter angegeben wer-

⁴<http://mvnrepository.com/>

⁵<http://www.apache.org/licenses/LICENSE-2.0.html>

⁶<https://opensource.org/licenses/MIT>

⁷<http://docs.oracle.com/javase/7/docs/technotes/guides/xml/jaxp/index.html>

den. In Hinblick auf die Anforderung, dass auch Konfigurationsdateien genutzt werden können, bzw. später sogar komplette Projektdateien, die die gesamten Daten einschließlich Konfiguration enthalten, sollte die Schnittstelle dazu flexibel gestaltet werden.

Ein wichtiger Grundgedanke zur Konfiguration ist außerdem, dass dem Nutzer so viel Freiheit wie möglich gelassen werden sollte. Es sollten in einem angemessenen Rahmen viele Konfigurationsmöglichkeiten bereitgestellt werden. Da dies den Einstieg in die Nutzung der Software erschwert, sollten jedoch für diese Parameter Standardvorgaben gewählt werden.

Erweiterung von SVGPlott

Die am Institut für Angewandte Informatik der TU Dresden erstellte Software *SVGPlott* [Har14; Bor+14] dient als Grundlage, die um die genannten Diagrammtypen erweitert werden soll. Mit *SVGPlott* lassen sich bis zu drei Funktionsgraphen in einem kartesischen Koordinatensystem zeichnen. Als optionale Hilfen können einzelne Punkte markiert, Integralfächen gezeichnet und horizontale sowie vertikale Hilfslinien dargestellt werden. Zusätzlich zu dem Diagramm werden eine Legende und eine Beschreibung erzeugt. Für audio-taktile Grafiken werden Labels, die das Ablesen der Funktionswerte und Achsenpositionen erleichtern, erzeugt. Ein Beispiel einer mit *SVGPlott* erzeugten Darstellung einschließlich der Legende ist in Abbildung 3.1 zu sehen.

Da *SVGPlott* eine Kommandozeilenanwendung ist, die auf Java basiert und SVG-Grafiken erzeugt, erfüllt es die grundlegenden technischen Anforderungen und kann somit als Basis für die neuen Diagrammtypen dienen. *SVGPlott* ist zunächst sehr monolithisch gestaltet, lässt sich aber durch Abstraktion und Restrukturierung modular aufbauen, sodass existierende Funktionalität genutzt und erweitert werden kann. Im Folgenden werden kurz nutzbare Funktionen beschrieben und dargelegt, inwieweit Erweiterungen nötig sind.

In *SVGPlott* ist die grundlegende Programmlogik, wie die Verarbeitung von Parametern und die Ausgabe in Dateien, vorhanden. Eine Weiterleitung des Diagramms (nicht der Legende oder Beschreibung) über Pipes ist möglich, wenn keine Datei als Ausgabe angegeben wird. Die Eingabe von Punktdaten ist über einen Kommandozeilenparameter möglich, jedoch sollte auch das Lesen aus einer Datei implementiert werden.

SVGPlott bringt bereits eigene Klassen für die SVG-Dokumente des Diagramms und der Legende mit, die genutzt werden können. Auch eine HTML-Klasse für die Textbeschreibung ist vorhanden. Grundlegende Zeichenelemente, wie Linien, Punkte und audio-taktile Overlays (siehe dazu Kapitel 3.2.2), sowie der Diagrammtitel können genutzt werden. Außerdem zeichnet *SVGPlott* ein kartesisches Koordinatensystem. Die Darstellung der Achsen, die durch den Ur-

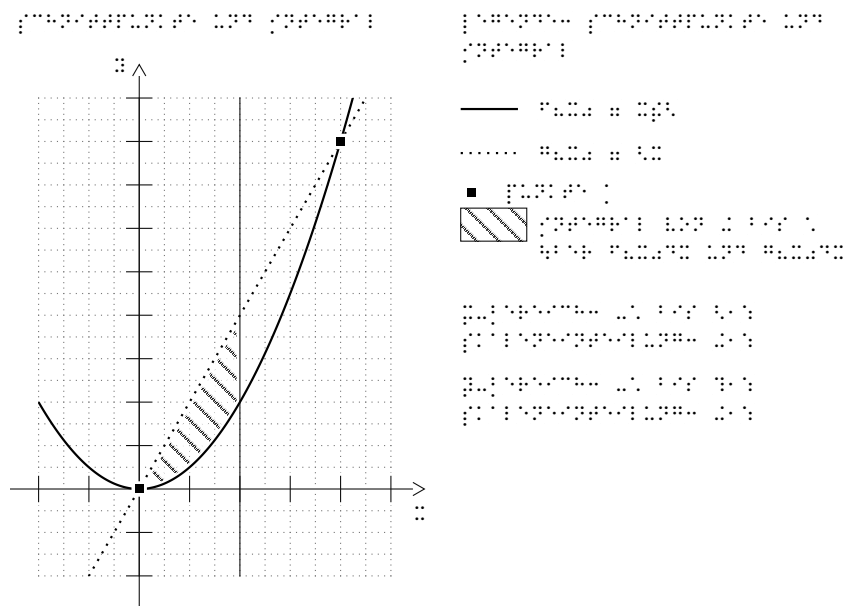


Abbildung 3.1: Mit SVGPlott für den Tiger Embosser erzeugte Graphen zweier Funktionen mit markierten Punkten, einer Integralfläche und Legende

sprung und somit bei einer Ausdehnung in den negativen Bereich mitten durch das Koordinatensystem verlaufen, ist nicht optimal für Punktdiagramme (siehe Kapitel 2.2.3); auch sind weitere Gestaltungsentscheidungen für die Diagrammtypen in dieser Arbeit anzupassen. Daher muss die existierende Implementierung der Achsen und des Gitters erweitert und konfigurierbar gestaltet werden. Dies wird ausführlich in Kapitel 3.2.1 beschrieben.

Erweiterbarkeit der Software

Ein Kriterium, das von vornherein geplant werden sollte, ist die zukünftige Erweiterbarkeit der Software. Besonders sollte eine Erweiterung um neue Diagrammtypen ermöglicht werden, aber auch die bereits vorhandenen Diagrammtypen sollten so implementiert werden, dass ihre Funktionalität weiterverwendet werden kann.

Für die in dieser Arbeit ausgeführten Diagrammtypen sind verschiedene Grundelemente nötig, die sich wiederholen können. Diese sind Punkte, Linien und Balken. Deren Zeichenfunktionen sollten so abstrahiert sein, dass sie an gegebener Stelle weiterverwendet werden können. Diese sollten sinnvoll parametrisiert sein; ein Beispiel ist die flexible Wahl des Darstellungsstils.

Die Achsen und das Gitter sollten wiederverwendbar sein und sinnvolle Konfigurationsmöglichkeiten bieten, sodass die verschiedenen Datentypen eine passende Darstellung erhalten. Beispielsweise könnten später auch logarithmische Achsen oder verschiedene Achsen- bzw. Gitterstile hinzugefügt werden. Die bereits in SVGPlott vorhandene Implementierung des Koordinatensystems für Funktionsgraphen sollte darin berücksichtigt werden. Zusätzlich könnten in Zukunft auch Diagrammtypen, die kein Koordinatensystem benötigen, dargestellt werden. Dies könnten Kreisdiagramme, Schaltpläne oder UML-Diagramme sein.

Im Allgemeinen ist ein modularer Aufbau wichtig, um keine Funktionalität, die mehrfach genutzt wird, doppelt zu implementieren. Dies würde die Wartbarkeit und Erweiterbarkeit einschränken. Davon betroffen sind unter anderem verwendete Algorithmen, aber auch die Zeichenfunktionen der Grundbestandteile der Diagramme. Im folgenden Kapitel wird beschrieben, welche dies im Detail sind.

3.2 Grundbestandteile audio-taktiler Diagramme

Im Zentrum dieser Arbeit stehen audio-taktile Punkt-, Linien- und Balkendiagramme. Diese Diagrammtypen haben Gemeinsamkeiten, die vorab implementiert werden sollten. In diesem Kapitel werden daher Grundbestandteile, die für alle der Diagrammtypen wichtig sind, beschrieben.

Alle drei Diagrammtypen haben gemeinsam, dass sie ein Koordinatensystem nutzen. Je nach Art des Diagramms kann dieses zwar unterschiedliche Eigenschaften haben, dennoch ist die grundlegende Darstellung ähnlich. In Kapitel 3.2.1 wird beschrieben, wie das Koordinatensystem, bestehend aus den Achsen und dem Gitter dargestellt werden.

Kapitel 3.2.2 ist der Erzeugung von Text- und Audiobeschriftungen gewidmet. Dabei wird einerseits auf grundlegende Aspekte, wie die Größe und Platzierung der Labels, eingegangen; andererseits wird betrachtet, welche Inhalte die Labels enthalten sollten.

Da Farben für die visuelle Wahrnehmung sehender Menschen sehr wichtig sind, ist Kapitel 3.2.3 der Darstellung von Farben gewidmet. Wichtige Fragestellungen sind dabei, wie blinde und farbfehlsichtige Menschen über die Farbigkeit der Darstellung informiert werden können, wie sie selbst farbige Darstellungen für sehende Menschen erzeugen können und wie Muster als Alternative zur Farbdarstellung benutzt werden.

Zum Abschluss wird in Kapitel 3.2.4 erläutert, was bei der Erzeugung der Legende und Bildbeschreibung zu beachten ist.

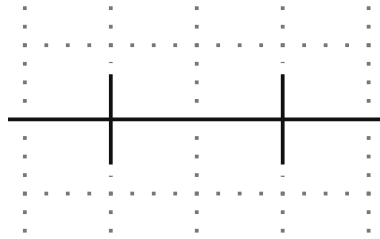


Abbildung 3.2: Gitterlinien werden in SVGPlot bereits in der doppelten Frequenz wie die Achsenmarkierungen gezeichnet.

3.2.1 Darstellung der Achsen und des Gitters

In Kapitel 2.2.3 wurden bereits grundlegende Darstellungsregeln der Achsen und des Gitters beschrieben. In diesem Kapitel werden benötigte Darstellungsformen des Koordinatensystems erläutert und darauf eingegangen, wie diese in der Praxis umgesetzt werden sollten. Dazu werden zunächst einige Aspekte der originalen Implementierung in SVGPlott beschrieben.

Grundlage für die mit SVGPlott erstellten Graphen sind zwei Koordinatensysteme. Dargestellt wird ein rechtshändiges kartesisches Koordinatensystem, das von Harlan [Har14] *virtuelles Koordinatensystem* genannt wird. Das Koordinatensystem der SVG-Datei (genannt *reales Koordinatensystem*) ist durch eine *Viewbox* (siehe [Eis02, S. 24]) so gerastert, dass eine Einheit einem Millimeter entspricht. Der Ursprung liegt links oben, die x-Achse zeigt nach rechts und die y-Achse zeigt nach unten.

Da die Skala der Daten nicht fix ist, ist es nötig, die Abstände der Gitterlinien und Achsenmarkierungen dynamisch zu berechnen. Der optimale Abstand wird so berechnet, dass ein Mindestabstand nicht unterschritten wird und für die Markierungen nur „Zehnerpotenzen (10^x), deren Hälfte oder das Doppelte als Intervall in Betracht gezogen [werden], also zum Beispiel 0,5, 1, 2, 5, 10 oder 20“ [Har14]. Die Gitterlinien werden in der doppelten Frequenz wie die Achsenmarkierungen gezeichnet (siehe Abbildung 3.2 – diese sowie nachfolgende Konzeptdarstellungen der Diagrammtypen wurden mit LibreOffice erstellt).

Gitterlinien können unabhängig voneinander in horizontaler und vertikaler Richtung angezeigt werden. Sinnvolle Standardvorgaben dazu hängen von der jeweiligen Diagrammart ab. Die Darstellung wird dabei der originalen Implementierung von SVGPlott entsprechen: Gitterlinien werden als am wenigsten prominente Elemente durch gepunktete Linien dargestellt. Die Punktabstände werden so berechnet, dass auf den Schnittpunkten der Gitterlinien Punkte liegen.

Um die in dieser Arbeit betrachteten Diagrammformen zusätzlich zu den Funktionsgraphen darstellen zu können, sind insgesamt drei Darstellungsformen der

3 Konzeption einer Software zum Erstellen audio-taktile Diagramme

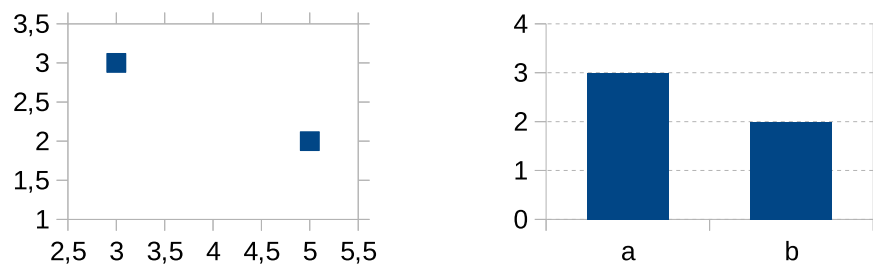


Abbildung 3.3: Links: Box-Achsen. Der Ursprung liegt außerhalb des Diagramms. Rechts: Nominale horizontale Achse.

Achsen nötig: die bereits vorhandenen Achsen für Funktionsgraphen, zusätzlich *Box-Achsen* für metrische Daten, sowie *nominale Achsen* für Balkendiagramme (siehe Abbildung 3.3).

Als Box-Achsen werden in dieser Arbeit Achsen bezeichnet, die das Diagramm auf allen Seiten umschließen. Die linke und die untere Achse sind in dieser Darstellung die Hauptachsen und schneiden sich nicht notwendigerweise im Ursprung des Diagramms. Daraus ergeben sich drei Vorteile gegenüber den Achsen der Funktionsgraphen: Die Position der Achsen ist klar definiert, wodurch diese für die Leser leicht auffindbar sind. Es ist nicht nötig, den Ursprung des Diagramms darzustellen – enthält der Wertebereich den Ursprung nicht, muss er auch nicht um diesen erweitert werden. Dadurch, dass die Achsen immer am Rand des Diagramms liegen, lassen sich außerdem Textlabels hinzufügen, ohne dass diese sich mit den anderen Inhalten des Diagramms überschneiden. Box-Achsen können ebenfalls für ordinale Daten eingesetzt werden.

Nominale Achsen haben zu den metrischen Box-Achsen einen wesentlichen Unterschied: Nur die in den Daten angegebenen Kategorien sind definiert, Zwischenwerte gibt es nicht. In der Darstellung werden wie in Abbildung 3.3 die Achsenmarkierungen zwischen die Kategorien gesetzt, um diese voneinander abzugrenzen.

Sowohl bei nominalen als bei Box-Achsen werden keine Pfeile an den Achsenenden dargestellt, da diese üblicherweise nur bei Funktionsgraphen genutzt werden [EW17]. In Kapitel 3.2.2 wird erläutert, wie die Beschriftungen der Achsen gesetzt werden.

3.2.2 Erzeugung von Text und Audio-Labels

Die Platzierung von Text in taktilen Diagrammen ist eine Herausforderung, da Brailleschrift wesentlich größer als Druckschrift ist⁸. Durch die im Vergleich zu visuellen Diagrammen größere Darstellung aller Elemente ist der Platz in taktilen Diagrammen beschränkt. Nachfolgend wird beschrieben, wie die wichtigsten Informationen als Brailletexte dargestellt werden und durch Audio-Labels um Details ergänzt werden können.

Textelemente, die für das Verständnis des Diagramms wichtig sind, sind der *Diagrammtitel*, die *Achsentitel* und die *Achsenbeschriftungen*. In der bisherigen Implementierung von SVGPlott wird der Diagrammtitel bereits erzeugt. Wenn nötig wird der Text an einer sinnvollen Stelle wie einem Wortende umgebrochen und kann somit mehrere Zeilen ausfüllen. Die Achsen der Funktionsgraphen werden fest als x und y bezeichnet.

Für die Koordinatensysteme der neuen Diagrammtypen sind die Achsentitel frei wählbar. Entsprechend der Gestaltungsrichtlinien (siehe Kapitel 2.2.3) wird der Achsentitel der vertikalen Achse direkt über dem Diagramm und der Titel der horizontalen Achse unter dem Diagramm stehen, in beiden Fällen linksbündig. Auf diese Art kann auch die Umbruchfunktion, wie sie beim Diagrammtitel zur Anwendung kommt, genutzt werden.

Die Beschriftungen an den Achsenmarkierungen können nur eingeschränkt gewählt werden. Wie in Kapitel 2.2.3 beschrieben, sollten sie maximal 2-3 Zeichen lang sein. Somit kann nur ein Bereich von -99 bis 999 dargestellt werden. Die Darstellung von Nachkommastellen ist dementsprechend noch eingeschränkter. Um in jedem Fall genug Platz zur Verfügung zu haben, wird nur an jeder zweiten Achsenmarkierung eine Beschriftung dargestellt. In der zukünftigen Entwicklung sollten Möglichkeiten zur Kürzung der Zahlen einbezogen werden. Zunächst wird versucht, die Zahlen darzustellen, wobei eine Warnung ausgegeben wird, sollte die Zahl zu viel Platz benötigen. In den neuen Diagrammtypen wird für die Achsenbeschriftungen ein fester Platz eingeplant. Dieser sowie der Frequenz der Beschriftungen kann zukünftig dynamisch berechnet werden, um das Problem zu langer Beschriftungen zu entschärfen.

Eine Herausforderung ist auch die Beschriftung nominaler und ordinaler Achsen. Das Fehlen einiger Beschriftungen würde das Diagramm unverständlich machen. Lediglich bei ordinalen Achsen, deren Kategorien den Lesern bekannt oder logisch ersichtlich sind, können Beschriftungen weggelassen werden. Ein Beispiel für solche Kategorien sind die Monate eines Jahres. Das Vorgehen bei der Beschriftung nominaler Achsen von Balkendiagrammen wird in Kapitel 3.3.3 beschrieben.

⁸Die in SVGPlott verwendete Schrift (optimiert für den Tiger Embosser) hat eine Größe von 36pt [Har14]

Audio-Labels sind in SVGPlott auf zweierlei Art implementiert. Elemente, die groß genug sind, um sie mit dem Finger leicht zu treffen, tragen direkt ein `<title>`-Element. Auf diese Art werden Punkte mit ihren exakten Koordinaten annotiert. Die Achsenmarkierungen sind jedoch beispielsweise zu schmale Linien, um sie direkt zu annotieren. Daher werden sie mit größeren, runden und unsichtbaren Overlays versehen, die an ihrer Stelle den Titel tragen. Mit dieser Technik werden bereits in regelmäßigen Abständen die Funktionsgraphen mit den Funktionswerten annotiert. Die beiden beschriebenen Techniken sind für die neuen Diagrammtypen ebenfalls ausreichend.

3.2.3 Farben und Muster

Farben sind ein wichtiges Werkzeug, um Informationen zu vermitteln. Sie eignen sich, um Objekte voneinander zu unterscheiden und in einer Legende zu referenzieren. Außerdem erzeugen sie Assoziationen bei der Wahrnehmung. Beispielsweise werden Farben mit Temperaturen assoziiert [Der+04]. In taktilen Diagrammen werden statt der Farben Muster eingesetzt; zugängliche Darstellungen für sehbehinderte Menschen können ein eigenes Farbschema erhalten. In beiden Fällen geht jedoch die originale Farbinformation verloren. Möchten blinde Menschen Diagramme für sehende Leser erzeugen, fällt ihnen außerdem die Farbwahl schwer. In diesem Kapitel wird beschrieben, wie Muster eingesetzt werden, wie die Leser über die Farben der Diagrammelemente informiert werden und wie sie selbst Farben wählen (oder Vorgaben nutzen) können.

Texturen bzw. Linienmuster sind eine Möglichkeit, Farben zu ersetzen, da sie sowohl von sehenden Menschen als auch bei hinreichend großer Darstellung von sehbehinderten Menschen und in taktilen Grafiken von blinden Menschen wahrgenommen werden können. Die Beschreibung und automatische Analyse von Texturen ist jedoch eine Herausforderung. Werden die Farben nicht gänzlich durch Textur ersetzt, werden sie außerdem weiterhin von sehenden Menschen in der Kommunikation verwendet [Tar11, S. 91]. Daher sollten trotz der Verwendung von Texturen Farbinformationen für alle Nutzer gegeben werden. Gestaltungsrichtlinien zu Texturen und Linien finden sich in Kapitel 2.2.3.

Aufgrund der schweren Beschreibbarkeit der Muster wird eine fixe Reihenfolge, in der sie verwendet werden, festgelegt. Sowohl bei Linien als auch bei Balken wird angenommen, dass der zuerst hinzugefügte Datensatz (z.B. die erste Spalte einer CSV-Datei) auch der wichtigste ist und die darauf folgenden Datensätze jeweils eine geringere Priorität haben. Die Muster werden so ausgewählt, dass die wichtigeren Daten auch die kräftigsten Muster besitzen. Linien werden wie bereits für die Graphen implementiert dargestellt. Die erste Linie ist also durchgängig, die zweite Linie gepunktet (damit sie sich möglichst gut von der ersten Linie unterscheiden lässt) und die dritte Linie gestrichelt. Analog dazu



Abbildung 3.4: In SVGPlott verwendete Texturen, jeweils skaliert auf 50%.
Links: Balkentexturen. Rechts: Linientexturen.

sind die wichtigsten Balken ausgefüllt (auf Schwellpapier in hoher Frequenz gepunktet, um einen ähnlichen Eindruck wie beim Druck mit einer Prägemaschine zu vermitteln), die zweitwichtigsten Balken gepunktet und die dritte Datenreihe gestreift. Weitere Datenreihen sind aufgrund des Platzbedarfs nicht vorgesehen, werden aber analog zu [Har14], wenn sie angegeben werden, wie die dritte Datenreihe dargestellt. In Abbildung 3.4 sind die verwendeten Muster (entnommen aus [PB16]) zu sehen.

Bei der Wahl passender Farben und deren Bezeichnungen sind mehrere Kriterien zu beachten. Zum einen sollte dem Nutzer freigestellt sein, eigene Farben zu wählen. Dies ist gerade dann wichtig, wenn die Farbe wie im genannten Beispiel der Temperaturen mit den Daten assoziiert wird. Diese Farben sollten aus einer vorgegebenen Auswahl stammen, um eine konsistente Benennung zu ermöglichen. Zum anderen sollte eine Standardoption für die Farben geboten werden, die auch für farbfehlsichtige Menschen unterscheidbar ist.

Für die grundlegende Farbpalette sind die *Basic Color Terms*, die von Berlin und Kay [BK99] genannt werden, von Bedeutung: weiß, schwarz, grau, rot, grün, gelb, blau, braun, pink, violett und orange. Aus diesen Farbnamen setzen alle von den Autoren untersuchten Sprachen ihr grundlegendes Farbvokabular zusammen. Daher ist davon auszugehen, dass diese Farben den Lesern bekannt sind. Eine willkürliche Auswahl dreier Farben aus dieser Liste ist allerdings nicht sinnvoll, da beispielsweise gemäß Wong [Won11] farbfehlsichtige Menschen mit Protanopie oder Deutanopie⁹ rot und grün schwer unterscheiden können. Wong schlägt daher eine Farbpalette vor, die von farbfehlsichtigen Menschen besser unterscheidbar sind. Jedoch tragen (ausgenommen schwarz) nur drei der Farben Namen aus den Basic Color Terms: blau, orange und gelb. Gelb ist hierbei eine problematische Wahl, da es auf weißem Papier einen geringen Kontrast zum Hintergrund hat. Gelbe Objekte sind daher schlecht zu erkennen. Orange und blau dagegen sind gut erkennbar und ihre Namen werden gemäß Boynton und Olson [BO90] besonders konsistent verwendet. Ebenso wird die Farbe grün konsistent verwendet. Wong [Won11] schlägt in seiner Palette einen blau-grün-Ton vor, der sich von den gewählten orange- und blau-Tönen unterscheiden lässt.

Um zu untersuchen, ob die Farben auch mit der von Wong nicht untersuchten

⁹Fehlen von roten bzw. grünen Photorezeptoren [Won11]

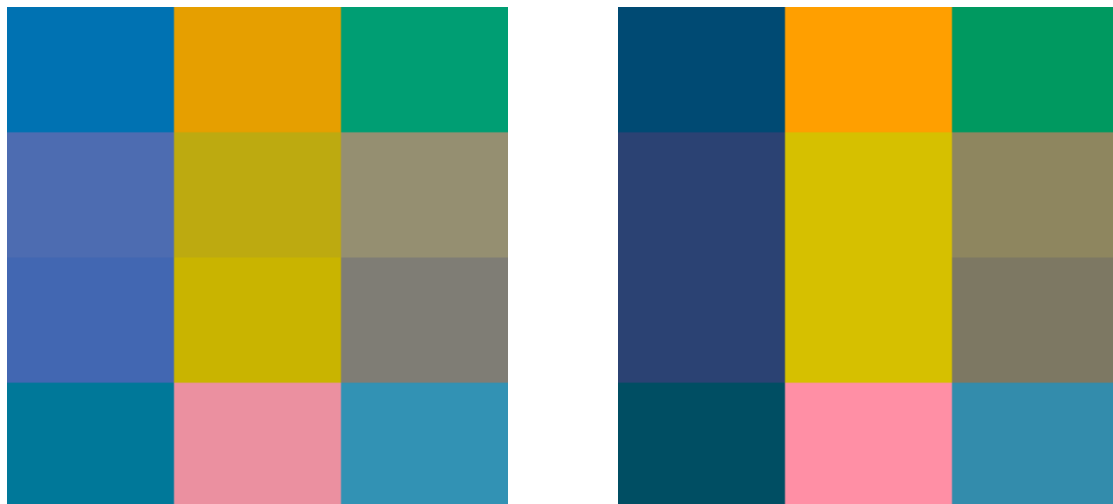


Abbildung 3.5: Wahl dreier Farben, die auch bei Farbfehlsichtigkeiten unterscheidbar sind. Die erste Zeile stellt die Farben mit ohne Fehlsichtigkeit dar, die weiteren Zeilen der Reihe nach mit Protanopie, Deutanopie und Tritanopie. Links ist die originale Farbwahl aus [Won11] zu sehen, rechts die modifizierte Farbwahl.

Tritanopie unterscheidbar sind, wird die freie Bildbearbeitungssoftware GIMP¹⁰ verwendet. Diese bietet einen Anzeigefilter, der die Farbfehlsichtigkeiten Protanopie, Deutanopie und Tritanopie simuliert. Unter Verifikation durch den Filter wurden die Farben weiter angepasst, um auch für Menschen mit Tritanopie unterscheidbar zu sein. Grün und orange wurden heller und stärker gesättigt, während blau dunkler wurde. Gewählt wurden somit $rgb(0, 74, 115)$ (blau), $rgb(255, 159, 0)$ (orange) und $rgb(0, 153, 96)$ (grün). In Abbildung 3.5 sind die ursprünglichen neben den optimierten Farben, sowie der Einfluss der drei genannten Farbfehlsichtigkeiten zu sehen.

Als restliche von den Nutzern wählbare Farben werden die von Taras [Tar11, S. 95] vorgeschlagenen RGB-Werte der Basisfarben verwendet. Aus der Kombination der Werte ergibt sich somit Tabelle 3.1. Diese Farben können per Kommandozeilenparameter als Primärfarben festgelegt werden. Weiß sollte jedoch aufgrund des weißen Hintergrundes nicht für Linien oder Punkte verwendet werden.

Damit die Farbinformation auch Nutzern, die sie nicht sehen können, zur Verfügung steht, wird sie in die Audio-Labels miteinbezogen. Wie der Text in den Labels aufgebaut ist, wird in den jeweiligen Darstellungen in Kapitel 3.3 beschrieben. Da die Datenwerte der wichtigste Teil des Labels sind, wird beachtet, dass die Farbinformation erst nach ihnen beschrieben wird.

¹⁰<https://www.gimp.org/>

| Name | R | G | B | Farbe |
|---------|-----|-----|-----|-------|
| weiß | 255 | 255 | 255 | |
| schwarz | 0 | 0 | 0 | |
| rot | 255 | 0 | 0 | |
| grün | 0 | 153 | 96 | |
| gelb | 255 | 255 | 0 | |
| blau | 0 | 74 | 115 | |

| Name | R | G | B | Farbe |
|---------|-----|-----|-----|-------|
| braun | 140 | 69 | 19 | |
| violett | 169 | 0 | 255 | |
| pink | 255 | 0 | 255 | |
| orange | 255 | 159 | 0 | |
| grau | 128 | 128 | 128 | |

Tabelle 3.1: In SVGPlott verwendete Farbnamen und -werte, in Anlehnung an [Tar11, S. 95]. Weiß sollte aufgrund des weißen Hintergrundes nicht für Linien und Punkte verwendet werden.

3.2.4 Aufbau der Legende

Wie auch in visuellen Diagrammen ist bei taktilen Diagrammen die Aufgabe der Legende, die Elemente des Diagramms zu erläutern, um direkte Beschriftungen darin zu vermeiden. Die Legende wird als von dem Diagramm unabhängige SVG-Datei erzeugt, um sie auf einer neuen Seite platzieren zu können.

Der Aufbau der Legende wird folgendermaßen gestaltet: Zunächst steht wie bereits implementiert der Titel des Diagramms – mit “Legende: ” als Präfix versehen. Dadurch ist die Zuordnung der Legende zum Diagramm gewährleistet. Weiterhin steht am Ende der Legende zu jeder Achse der zugehörige Wertebereich und die Skaleneinteilung. Dazwischen werden die einzelnen Elemente des Diagramms zeilenweise aufgelistet. Gemäß der Guidelines der Braille Authority of North America [Bra10, 5.7.1] sind dies der Reihe nach Flächentexturen, Linientexturen und danach Punktsymbole. Außerdem können darauf ein alphabetischer und ein numerischer Schlüssel folgen. Die vorgegebene Reihenfolge der Elemente ist jedoch nicht immer sinnvoll: Besser ist es, wenn zunächst die Elemente mit der größten Bedeutung bzw. Elemente, die für das Verständnis der anderen Elemente wichtig sind, stehen. In der Beschreibung der Diagrammart in Kapitel 3.3 wird jeweils erwähnt, ob von der Standardreihenfolge abgewichen wird. Jeder Eintrag in der Legende besteht aus einer Abbildung des jeweiligen Elements, neben dem auf der rechten Seite der Name der zugehörigen Datenreihe steht. Ein Beispiel für eine Legende für Funktionsgraphen aus der originalen SVGPlott-Implementierung ist in Abbildung 3.1 (S. 43) zu sehen. Hier stehen die Linien entgegen der Guidelines an erster Stelle, da sie am wichtigsten sind.

3.2.5 Aufbau der Bildbeschreibung

Neben der Legende ist ein zweites wichtiges Element zum Verständnis von Diagrammen die Bildbeschreibung. In diesem Kapitel wird beschrieben, welche Inhalte diese enthält und welche Textbausteine zur Erzeugung der Beschreibung verwendet werden.

Die Beschreibung sollte gemäß der *Image Description Guidelines* des DIAGRAM Center [DIA15, S. 12] mit grundlegenden Informationen beginnen und danach Details erläutern. Es soll nur beschrieben werden, was sichtbar ist – Interpretationen sollten vermieden werden [DIA15, S. 11]. Daher setzt sich die Beschreibung der Diagramme aus folgenden Elementen zusammen:

- Titel
- Diagrammtyp
- Achsenkonstellation
- Gitter

Weitere Charakteristika erschließen sich aus den Daten. In den *Image Description Guidelines* wird der Fall betrachtet, dass die Beschreibung die Grafik ersetzt, wodurch diese Merkmale von hoher Bedeutung sind. Beispiele für solche Charakteristika sind:

- Die Daten in tabellarischer Form [DIA15, S. 51]
- Verlaufsbeschreibung: Welche Abschnitte eines Liniendiagramms besitzen welche Steigung? [UK 12]
- Gibt es Trends in den Daten? Fallend, steigend? Ändert sich die Varianz im Zeitverlauf? [UK 12]
- Wo liegt die Mehrheit der Punkte eines Punktdiagramms? [Mor+15]
- Gibt es Ausreißer (engl.: Outlier), also Datenpunkte, die aus dem allgemeinen Muster fallen? [Mor+15]

Die automatische Erkennung dieser Charakteristika ist ein eigenes Thema und wird, da die Beschreibung hier die Grafik nicht ersetzt, in dieser Arbeit nicht behandelt. Zu den vorgestellten Diagrammtypen werden vorerst Beschreibungen generiert, die nur die zuerst genannten Elemente abdecken und später bei Bedarf erweitert werden können. Die existierende Implementierung enthält bereits Funktionalität zur Erzeugung einer Beschreibung für Funktionsgraphen als

HTML-Datei. Auf dieser Grundlage werden die Beschreibungen für die weiteren Diagrammtypen hinzugefügt. Nachfolgend werden die einzelnen Textbausteine für die Beschreibungen erläutert. Diese sind an [UK 12] und [DIA15] angelehnt.

Zu Beginn jeder Beschreibung steht der Diagrammtitel und -typ. Für Balkendiagramme wird der Typ genauer spezifiziert, um die verschiedenen Darstellungsmöglichkeiten abzudecken (genauer dazu in Kapitel 3.3.3).

Dieses {Diagrammtyp} trägt den Titel {Titel}. [Die Balken sind vertikal [ausgerichtet | gruppiert | gestapelt].]

Daraufhin wird die Achsenkonstellation beschrieben. Der erste Textbaustein dazu ist dem allgemeinen Aufbau gewidmet. Die Information über den Achsen Schnittpunkt wird für Balkendiagramme nicht gegeben, da für die Definition eines Schnittpunktes zwei metrische Achsen nötig sind.

Die Achsen und ihre Beschriftungen befinden sich links des Diagramms und darunter [und schneiden sich im Punkt {Schnittpunkt}]. [[Beide Achsen werden | Die vertikale Achse wird] auch auf der gegenüberliegenden Seite des Diagramms dargestellt.]

Als nächster Teil der Beschreibung werden die Achsen durch ihre Wertebereiche genauer charakterisiert. Dieser Baustein wird für die Beschreibung der horizontalen und vertikalen Box-Achsen verwendet:

Die [horizontale | vertikale] Achse ist als {Achsenname} bezeichnet und ist [in der Einheit {Einheit}] von {Minimum} bis {Maximum} in Intervallen von {Skaleneinteilung} markiert. [Es wird ein [horizontales | vertikales] Gitter dargestellt.]

Die Beschreibung der nominalen Achse ist mit der Beschreibung der Balken verbunden, weshalb sie in Kapitel 3.3.3 betrachtet wird. Weitere Textbausteine beschreiben die Daten der Diagramme und verwendete Hilfsmittel genauer. Da sie für jeden Diagrammtyp verschieden sind, werden sie in Kapitel 3.3 zu den zugehörigen Darstellungen beschrieben.

Die in diesem Kapitel erläuterten Grundlagen stellen einen Rahmen für die Darstellung der einzelnen Diagrammtypen dar. Es wurde beschrieben, wie das Koordinatensystem aufgebaut ist, wie Beschriftungen und Audio-Labels eingesetzt werden, welche Farben und Muster zur Anwendung kommen und wie die Legende sowie die Bildbeschreibung aufgebaut sind. Im folgenden Kapitel werden diese und ihre Gestaltung, sowie Hilfsmittel zur Interpretation vorgestellt.

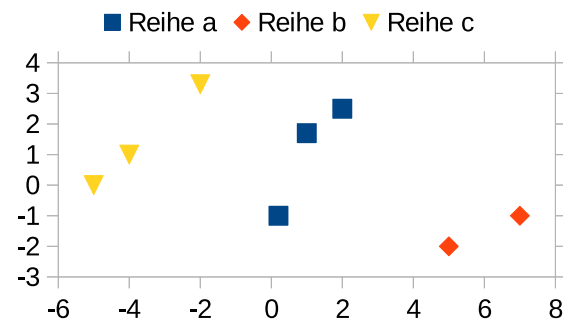


Abbildung 3.6: Punktdiagramm, das für drei Datenreihen eine Variable auf eine andere abbildet.

3.3 Darstellung ausgewählter Diagrammtypen und zusätzlicher Hilfsmittel

In diesem Kapitel wird beschrieben, wie mit den Grundlagen aus dem vorherigen Kapitel Punkt-, Linien- und Balkendiagramme dargestellt werden können. Außerdem werden Hilfsmittel vorgestellt, mit denen die Interpretation der Daten erleichtert wird. Im Einzelnen sind dies Trendlinien und Sortierungsfunktionen.

3.3.1 Darstellung von Punktdiagrammen

Punktdiagramme beinhalten Werte einer oder mehrerer Datenreihen. Sie ermöglichen die Darstellung einer Variable im Zusammenhang mit einer anderen Variable [Yau11, S. 181]. In Punktdiagrammen lassen sich beispielsweise Korrelationen, Ballungen (engl. Cluster) und Ausreißer erkennen. Werden mehrere Datenreihen dargestellt, können zwischen ihnen ebenfalls Zusammenhänge erkannt werden. Abbildung 3.6 zeigt ein Modell eines Punktdiagramms, das mit LibreOffice erstellt wurde.

Die verwendeten Symbole (siehe Abbildung 3.7) sind aus der originalen Implementierung von SVGPlott entnommen und wurden bereits mit Nutzern getestet [Bor+14]. Für Punktdiagramme mit nur einer Datenreihe wird der ausgefüllte Kreis verwendet, wodurch die Symbole etwas näher zusammen liegen können ohne sich zu überschneiden als die quadratischen Symbole. Eine Möglichkeit, in der späteren Weiterentwicklung Überschneidungen zu behandeln wäre die dynamische Wahl kleinerer Symbole. Dies würde jedoch nur zu einem gewissen Grad funktionieren, da die Symbole eine Mindestgröße haben müssen, um dargestellt werden zu können. Auch wären verkleinerte Symbole aus mehreren Datenreihen nicht mehr unterscheidbar.

3.3 Darstellung ausgewählter Diagrammtypen und zusätzlicher Hilfsmittel



Abbildung 3.7: Punktsymbole v.l.n.r. in der Ordnung ihrer zugehörigen Datenreihen. Für Punktdiagramme mit nur einer Datenreihe wird der runde ausgefüllte Punkt verwendet. Die Seitenlänge des Quadrats beträgt 4mm.

Die Symbole nehmen in der Darstellung als visuelles Diagramm die gewählten Farben (siehe Kapitel 3.2.3) an. Der Forderung aus den Gestaltungsrichtlinien (siehe Kapitel 2.2.3) nach ausreichenden Abständen zwischen anderen Elementen und den Punktsymbolen wird nachgekommen, jedoch sollten sie keinen Abstand zu den anderen Punktsymbolen haben.

Die Symbole haben eine Seitenlänge von 4mm und sind somit zum Abrufen der Audio-Information schwer zu treffen. Insbesondere das Kreuz hat sehr dünne Linien. Daher werden in diesem Fall separate unsichtbare Audio-Labels verwendet, die über den Punkten liegen. Die Labels enthalten sowohl die Koordinaten als auch die Datenreihe und ihre Farbe. Ein Problem wird bei sich überschneidenden Punkten auftreten. Nur einer der Punkte an einer Stelle wird über sein Label identifizierbar sein. Für das Ablesen der groben Position ist dies unproblematisch, jedoch geht die Information über die Datenreihe und Farbe des unteren Punktes verloren.

Das Koordinatensystem wird standardmäßig mit gedoppelten Achsen und ohne Gitter dargestellt, um wie in Kapitel 2.2.3 beschrieben die Erkennung qualitativer Information wie einer Korrelation zwischen den dargestellten Variablen, aber auch die Identifizierung der Symbole zu vereinfachen. Auch in den Guidelines der Braille Authority of North America [Bra10, 6.6.5.4] wird von der Verwendung eines Gitters abgeraten.

In der Beschreibung wird zusätzlich zu den allgemeinen Informationen zum Diagramm genannt, welche Datenreihen dargestellt werden. Um eine Vorstellung vom Umfang des Diagramms zu bekommen, wird zu jeder Datenreihe genannt, wie viele Punkte sie enthält:

Es werden {Anzahl_Datenreihen} Datenreihen dargestellt:

- {Name_Reihe_1}: {Anzahl_Punkte_Reihe_1} Punkte
- ...

Mit den in diesem Kapitel vorgestellten Punktdiagrammen lassen sich Zusammenhänge zwischen zwei Variablen präsentieren. Als Interpretationshilfe dienen

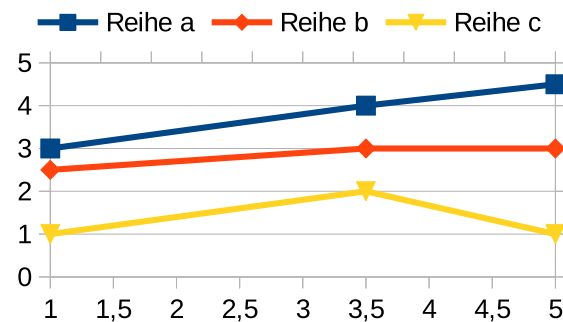


Abbildung 3.8: Liniendiagramm mit einer irregulären horizontalen Achse

Trendlinien, die mit verschiedenen Algorithmen berechnet werden können. Stehen die Daten in einer bestimmten horizontalen Ordnung (z.B. bei Zeitreihen) und sollen diese in der richtigen Reihenfolge abgelesen werden, kann es für die Nutzer schwer sein, dem Verlauf zu folgen. Als Möglichkeit, dies zu vereinfachen, werden daher im folgenden Kapitel Liniendiagramme konzeptioniert.

3.3.2 Darstellung von Liniendiagrammen

Bei der Darstellung von Daten, die in einer horizontalen Ordnung stehen, haben Liniendiagramme (siehe Abbildung 3.8) eine ähnliche Funktion wie Punktdiagramme. Im Unterschied zu Punktdiagrammen sagen Liniendiagramme jedoch durch die Verbindung der Punkte aus, dass kontinuierliche Daten dargestellt werden, implizieren also, dass es Zwischenwerte gibt, die im Rahmen der Abstrakte nicht erfasst wurden [Yau11, S. 118]. Außerdem wird die Verfolgung des Verlaufs gerade bei mehreren Datenreihen oft einfacher, da nicht mehr der nächste Punkt gesucht und korrekt erkannt werden muss. Möchte man die Punkte verbinden, ohne zu implizieren, dass die Daten sich kontinuierlich ändern, eignen sich gemäß Yau [Yau11, S. 123] Treppendiagramme, welche in dieser Arbeit jedoch nicht behandelt werden.

Wie bereits in Kapitel 3.2.3 beschrieben, werden drei leicht unterscheidbare Linientypen unterstützt. Diese sind in Abbildung 3.4 (S. 49) dargestellt. Die Linien erhalten einen Abstand zu anderen Elementen (siehe Kapitel 2.2.3), damit sie sich nicht mit anderen Elementen schneiden. Dabei wird beachtet, dass wie in den Gestaltungsrichtlinien vorgegeben schwächere Linien stärkere Linien unterbrechen.

Die Datenpunkte können durch das kreisförmige ausgefüllte Punktsymbol dargestellt werden (siehe Abbildung 3.7, S. 55). Der Vorteil der Darstellung dieser Symbole ist, dass damit für den Leser klar erkennbar ist, an welcher Stelle die

3.3 Darstellung ausgewählter Diagrammtypen und zusätzlicher Hilfsmittel

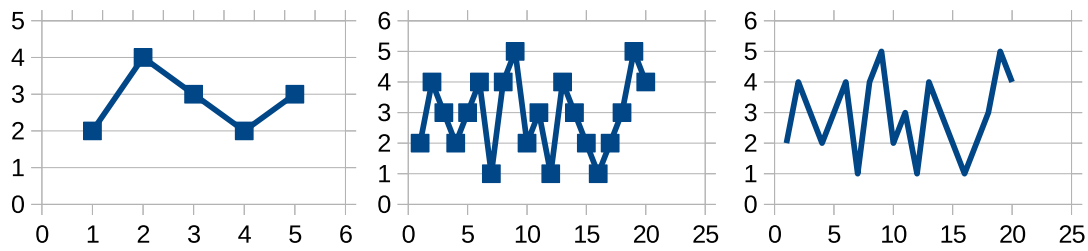


Abbildung 3.9: Darstellung der Datenpunkte in Liniendiagrammen. Links: es ist genug Platz zur Darstellung vorhanden. Mitte: zu viele Datenpunkte werden dargestellt, die Linien sind schwer erkennbar. Rechts: bei einer kompakten Darstellung ist es besser, keine Datenpunkte darzustellen.

Datenpunkte liegen. Außerdem wissen sie dadurch, wie nachfolgend beschrieben, wo über Audiolabels exakte Koordinaten ablesbar sind. Stehen diese Punkte jedoch sehr eng beieinander, kann die Linie nicht mehr gut erkannt und verfolgt werden, da sie größtenteils verdeckt ist. In diesem Fall wäre es aber auch leichter, durch Berühren sofort das Audio-Label eines Datenpunktes zu finden als bei großen Abständen zwischen diesen. Daher werden die Datenpunkte nur bis zu einer gewissen Punktdichte dargestellt. In Abbildung 3.9 ist dies illustriert.

Es werden zwei Arten von Audio-Labels erzeugt: Sowohl die Linie als auch Datenpunkte erhalten Audio-Labels (auch wenn die Punkte selbst nicht dargestellt werden), wobei letztere die der Linie überdecken. Das Label der Linie trägt ihren Titel und ihre Farbe, während die Labels der Punkte zusätzlich am Anfang des Titels die Koordinaten auflisten. Somit lässt sich in jedem Fall die Linie identifizieren. Wenn ein Datenpunkt gefunden wurde, lassen sich zusätzlich die Koordinaten ablesen. Theoretisch wäre es auch möglich, so wie in der Darstellung der Funktionsgraphen in der Originalimplementierung auf der Linie in regelmäßigen Abständen weitere Audiolabels zu verteilen. Der Nachteil wäre, dass damit implizit ausgesagt würde, dass die eigentlich interpolierten Punkte gemessen wurden. Bei Funktionsgraphen hingegen ist jeder beliebige Punkt auf der Kurve exakt durch die Funktion definiert.

Genauso wie bei den Punktdiagrammen werden Box-Achsen verwendet. Standardmäßig wird dazu das Gitter dargestellt. Falls kein Gerät zur Ausgabe der Audio-Labels vorhanden ist, wird das Ablesen exakter Werte so erleichtert. Außerdem ist zu erwarten, dass horizontale Gitterlinien es erleichtern, die Steigung der Liniensegmente zu schätzen, da der Winkel des Segments zur nahen Gitterlinie einfacher zu ertasten ist, als der Winkel zu einer entfernter liegenden Achse. Ein weiterer Grund für diese Wahl sind die Ergebnisse aus der Studie von Aldrich und Parkin [AP87], die in Kapitel 2.2.3 ausgeführt wurden.

Die Beschreibung der Datenreihen von Liniendiagrammen enthält anders als die der Punktdiagramme nicht die Anzahl der Datenpunkte, da diese nicht immer dargestellt werden und die Linien das Hauptelement des Diagramms sind. Wichtige Eigenschaften der Linien sind ihre Maxima und Minima, die zusätzlich aufgeführt werden. Die Form für Maxima bzw. Minima ist: $[\max \mid \min](\{\text{Horizontaler_Wert}\} \mid \{\text{Vertikaler_Wert}\})$.

Es werden $\{\text{Anzahl_Datenreihen}\}$ Datenreihen dargestellt. Hinter ihren Namen stehen die Maximal- bzw. Minimalwerte.

- $\{\text{Name_Reihe_1}\}: \{\text{Max_Reihe_1}\}; \{\text{Min_Reihe_1}\}$
- ...

In diesem Kapitel wurden Liniendiagramme als Möglichkeit, Daten mit einer horizontalen Ordnung darzustellen, präsentiert. Sowohl die Linien- als auch Punktdiagramme eignen sich jedoch bisher nur zur Darstellung metrischer Daten. Ordinale und nominale Daten wurden noch nicht betrachtet. Im folgenden Kapitel werden Balkendiagramme, die sich zur Darstellung dieser Datentypen eignen, vorgestellt.

3.3.3 Darstellung von Balkendiagrammen

So wie Liniendiagramme eignen sich auch vertikale Balkendiagramme (oft auch Säulendiagramme genannt, in dieser Arbeit weiterhin als Balkendiagramme bezeichnet) zur Darstellung von Zeitreihen [Yau11, S. 94] bzw. anderen Daten in horizontaler Ordnung. Zusätzlich können mit ihnen auch ordinale und nominale Daten dargestellt werden [Yau11, S. 148]. Neben der einfachen Variante, bei der alle Balken aus einer einzelnen Datenreihe stammen, lassen sich Balken aus mehreren Datenreihen auch gruppieren oder als Stapel darstellen. Durch letzteres können z.B. prozentuale Aufteilungen dargestellt werden. In Abbildung 3.10 sind Beispiele zu den drei Arten dargestellt. Im Gegensatz zu den vorherigen Diagrammtypen wird bei Balkendiagrammen die dargestellte Variable auf die Höhe und nicht auf die Position abgebildet [Yau11, S. 95]. Somit lassen sich einzelne Werte leicht vergleichen.

Bei Balkendiagrammen mit gruppierten oder gestapelten Balken müssen für die Balken unterschiedliche Texturen gewählt werden, um die Datenreihen innerhalb einer Gruppe bzw. eines Stapels unterscheiden zu können. Genauso wie bei Liniendiagrammen werden auch drei verschiedene Balkentexturen unterstützt. Diese sind in Abbildung 3.4 (S. 49) dargestellt. Wie in Kapitel 2.2.3 beschrieben

3.3 Darstellung ausgewählter Diagrammtypen und zusätzlicher Hilfsmittel

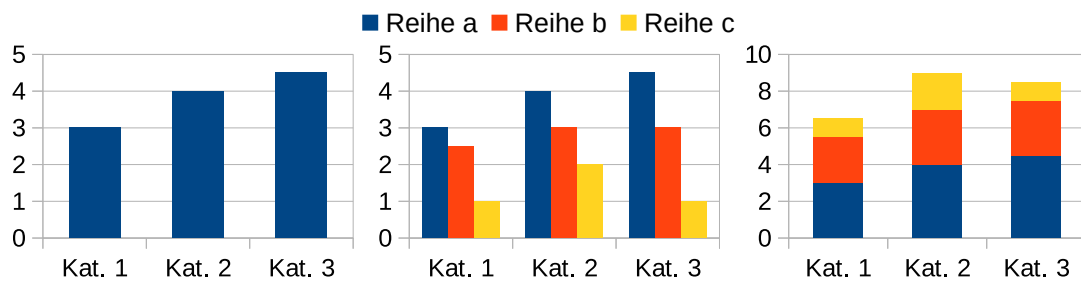


Abbildung 3.10: Drei Arten von Balkendiagrammen. Links: einfach. Mitte: gruppiert. Rechts: gestapelt. Die horizontale Achse ist jeweils die nominale Achse, die vertikale Achse ist die metrische Achse. Die Datenreihen sind in je einer Farbe dargestellt. (Darstellung frei nach [Gon+10b])

müssen die Texturen einen Mindestabstand zur Kontur besitzen. Ebenfalls analog zu den Liniendiagrammen werden die Farben der Balken automatisch oder durch die Nutzer gewählt.

Die Platzierung der Balken ist schwieriger als die Platzierung von Punkten, da es mehrere Einflussfaktoren gibt. Die Balken haben eine eigene nicht vordefinierte Größe und dürfen sich auf keinen Fall mit anderen Balken überschneiden. An dieser Stelle werden noch einmal die Kriterien aus Kapitel 2.2.3 wiederholt:

- Abstand zwischen Balken: mehr als 6mm, aber nicht zu groß (Tiger Embosser, wird aus Konsistenzgründen auch für Schwellpapier angewendet)
- Mindestbreite Balken: 1,3cm, besser 2cm
- Maximalbreite Balken: 2,5cm

Innerhalb eines Stapels oder einer Gruppe weisen die Balken jedoch keinen Abstand auf, sondern teilen sich eine Konturlinie (siehe dazu die Darstellungen in Abbildung 3.10). Nur die Gruppen haben zueinander einen Abstand. So wird bei der Gruppierung ermöglicht, die Zusammengehörigkeit zu erkennen, während Abstände bei gestapelten Balkendiagrammen innerhalb eines Stapels die Höhe der Balken verfälschen würden. Damit wird auch dem Vorgehen in [Gon+10b] und [EW17] gefolgt. Die Mindestbreite der Balken sollte laut den Gestaltungsrichtlinien auch als Mindesthöhe gelten, sodass die Textur erkennbar ist. Da die Höhe aber von den Daten abhängt, kann dieses Kriterium nicht gesichert werden. Stattdessen muss bei der Unterschreitung des Grenzwertes eine Warnung ausgegeben werden. Außerdem ist zu überlegen, ob in solchen Fällen eine Textur, von der nur ein kleiner Ausschnitt dargestellt wird, für Verwirrung sorgen könnte.

Daher können solche Texturen optional auch weggelassen werden. Balken, die eine Höhe von 0 haben, sind in der Darstellung zwar nicht so problematisch wie sehr kleine Balken, da das Fehlen eines Balkens erkennbar sein sollte, dennoch wird darüber eine Information ausgegeben.

Die Balken sind breit genug, um sie zum Abspielen der Audiolabels ohne Probleme zu treffen; bei Beachtung der Warnungen über die Balkenhöhe sind sie auch hoch genug. Daher können sie direkt mit einem Titel und einer Beschreibung annotiert werden. Informationen, die enthalten sein sollten, sind: Kategorie, Wert der Variable, Name der Datenreihe und Farbe.

Balkendiagramme benötigen im Gegensatz zu Punkt- und Liniendiagrammen eine nominale horizontale und eine metrische vertikale Achse. Anders als bei den bisherigen Diagrammtypen werden bei Balkendiagrammen die Achsen nicht gedoppelt. Da die Balken bereits zur horizontalen Achse unter ihnen führen, ist eine Dopplung dieser Achse nicht nötig. Wie in der Studie von Goncu et al. [Gon+10b] ersichtlich wird, führt ein horizontales Gitter zu weniger Fehlern beim Interpretieren des Diagramms. Dies steht im Einklang mit der Nutzerpräferenz. Daher wird ein horizontales Gitter dargestellt, um leichter Werte ablesen zu können.

Bei der Beschriftung der nominalen Achse muss für die Namen aller Kategorien Platz sein. Um den Platz auszunutzen und die Zugehörigkeit der Beschriftung zu ihrem Balken bzw. ihrer Gruppe klar darzustellen können, die Beschriftungen zentriert unter den Balken oder am ersten Balken ausgerichtet platziert werden. In visuellen mit LibreOffice erstellten Diagrammen geschieht ersteres automatisch. Auch in taktilen Diagrammen wird dies von Engel und Weber [EW17] und Goncu et al. [Gon+10b] so umgesetzt, allerdings können die Achsenmarkierungen entweder wie im ersten Fall zwischen den Balken oder wie im zweiten Fall unter dem ersten Balken gesetzt werden – erstere Möglichkeit hat den Vorteil, dass alle Beschriftungen den gleichen Abstand zu den Balken haben und für den Nutzer somit die Zuordnung leicht fällt, letzteres ermöglicht wie in [GM08] eine Staffelung der Beschriftungen und damit längere Beschriftungstexte. Beide Möglichkeiten sind in Abbildung 3.11 dargestellt.

Balkendiagramme lassen sich auch mit horizontal verlaufenden Balken darstellen. Dadurch könnten einerseits längere Beschriftungen links des Diagramms Platz finden, wobei jedoch die Darstellungsfläche des Diagramminhalts kleiner wird. Auf der anderen Seite sind horizontale Balkendiagramme z.B. bei der Darstellung von Zeitreihen untypisch: In allen von Yau [Yau11] dargestellten Beispielen verläuft die Zeitachse horizontal. Gemäß Engel und Weber [EW17] sind die Leser taktiler Diagramme vertrauter mit einem vertikalen als mit einem horizontalen Balkenverlauf. Aus diesen Gründen wird in dieser Arbeit vorerst auf die Implementierung horizontaler Balkendiagramme verzichtet; eine zukünftige

3.3 Darstellung ausgewählter Diagrammtypen und zusätzlicher Hilfsmittel

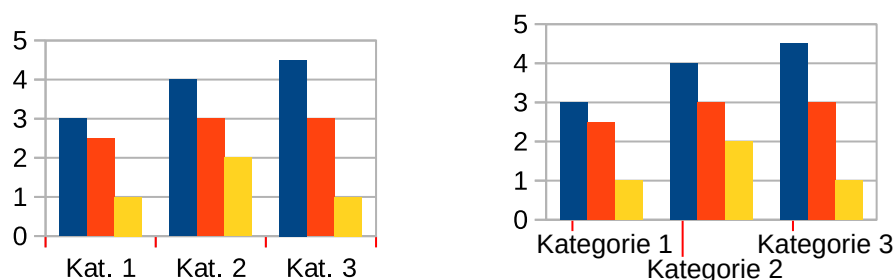


Abbildung 3.11: Zwei verschiedene Möglichkeiten, Label und Achsenmarkierungen (rot markiert) von Balkendiagrammen zu setzen.

Erweiterung um diese Darstellung ist jedoch möglich.

Die Beschreibung der in Balkendiagrammen dargestellten Daten ist mit der in dieser Arbeit bisher noch nicht betrachteten Beschreibung der nominalen Achse verbunden, da die Achsenbeschriftungen aus der Datenreihe stammen. Zur automatisierten Beschreibung des Inhalt von Balkendiagrammen sei die Arbeit von Demir et al. [Dem+07] genannt. Nachfolgend steht der Textbaustein für die Beschreibung der Balkendiagramme. Die darin erwähnte Sortierung wird in Kapitel 3.3.4 betrachtet.

Die Balken sind [unsortiert | nach {Kriterium} sortiert] und von links nach rechts folgendermaßen beschriftet:

- {Beschriftung_Balken_1}
- ...

Es werden {Anzahl_Datenreihen} Datenreihen dargestellt:

- {Name_Reihe_1}
- ...

Balkendiagramme bieten durch ihre vielfältigen Gestaltungsmöglichkeiten eine flexible Möglichkeit, Daten darzustellen. Wie in Kapitel 2.1 beschrieben sollte vor der Nutzung eines Balkendiagramms jedoch erwägt werden, ob eine Tabelle nicht effizienter ist und von den Lesern des Diagramms besser angenommen wird.

Insgesamt werden durch Punkt-, Linien- und Balkendiagramme drei verschiedene und anpassbare Optionen, Daten in taktilen Diagrammen darzustellen, geboten. In manchen Fällen kann es hilfreich sein, die Darstellung der Daten zu verbessern, um für die Leser besondere Merkmale wie Trends hervorzuheben.

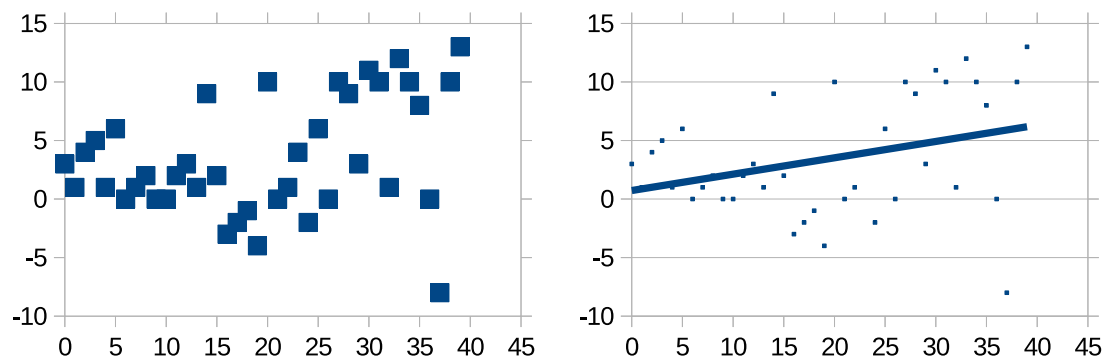


Abbildung 3.12: Im links dargestellten Punktdiagramm ist ein Trend aufgrund der hohen Varianz der Daten schwer erkennbar. Rechts zeigt die Trendlinie einen eindeutigen Trend nach oben an.

Daher werden im folgenden Kapitel Hilfsmittel zur Interpretation der Daten beschrieben.

3.3.4 Hilfsmittel

Die bisher erzeugten Diagrammen stellen ihre Daten neutral dar, ohne die Aufmerksamkeit der Leser auf bestimmte Merkmale zu lenken. In diesem Kapitel werden mit Trendlinien und der Sortierung von nominalen Daten zwei Möglichkeiten dargestellt, bestimmte Merkmale hervorzuheben.

Trendlinien

Nicht immer lassen sich in Punktdiagrammen eindeutige Zusammenhänge erkennen. Haben die Daten eine große Varianz, fällt es oft schwer, Trends eindeutig zu erkennen. Durch die lineare Wahrnehmung taktiler Diagramme wird dies weiter erschwert. Daher sind Trendlinien ein wichtiges Hilfsmittel zur Datenanalyse. Trendlinien könnten zwar auch in Liniendiagrammen und Balkendiagrammen erzeugt werden, jedoch würden die Überschneidungen der Linien mit den anderen Elementen das Diagramm schwer lesbar machen. Daher werden Trendlinien nur für Punktdiagramme implementiert. In Abbildung 3.12 ist ein Beispiel zu sehen, in dem eine Trendlinie das Erkennen des Trends erleichtert. Nachfolgend werden einige Berechnungsmethoden für Trendlinien vorgestellt, von denen einige passend für Datenreihen mit konstanten Abständen zwischen den horizontalen Werten und einige zum Erkennen von Korrelationen zweier voneinander abhängiger Variablen sind.

Zur Analyse von Datenreihen mit horizontalen Werten in einer festen Frequenz

3.3 Darstellung ausgewählter Diagrammtypen und zusätzlicher Hilfsmittel

(hier am Beispiel von Zeitreihen dargestellt) stellt das *e-Handbook of Statistical Methods* [NIS] eine Vielzahl von Methoden vor, von denen an dieser Stelle einige ausgewählte präsentiert werden. Als einfachste Methode daraus bietet sich das *gleitende Mittel* an. Es handelt sich dabei um das arithmetische Mittel der vorangehenden N Werte einer Zeitreihe. Damit ist aber das Mittel in Bezug auf die Daten verschoben. Für ungerade N ist es allerdings möglich, den Mittelwert zu zentrieren. Folgende Formel gilt somit für das Mittel M_t zum Zeitpunkt t einer Zeitreihe X :

$$M_t = \frac{X_t + (X_{t-1} + \dots + X_{t-l}) + (X_{t+1} + \dots + X_{t+l})}{N}, \text{ mit } l = \frac{N-1}{2} \quad (3.1)$$

Um in der Praxis keine geraden Zahlen zu erlauben, kann das in Gleichung 3.1 definierte l als Parameter für das gleitende Mittel angegeben werden. Werte, die nicht genügend Vorgänger bzw. Nachfolger zur Berechnung haben, werden ausgelassen. Dieses Verfahren ist eine simple Glättung der Daten. Problematisch ist vor allem, dass bei größeren l immer mehr Werte am Anfang und Ende der Zeitreihe fehlen.

Ein weiteres Verfahren, das nicht unter dieser Einschränkung leidet, aber auch nur eine geringe Verzögerung erzeugt, ist die *exponentielle Glättung*. Bedeutend ist besonders, dass zu jedem bestimmten Zeitpunkt alle vorherigen Daten in die Rechnung aufgenommen werden, wobei Daten mit steigendem Alter schwächer gewichtet werden. In [NIS] wird die Formel für die exponentielle Glättung einer Zeitreihe X , beginnend mit X_1 , aufgeführt: Der Mittelwert M_2 wird auf $M_2 = X_1$ gesetzt. Die weiteren Werte M_t berechnen sich mit der Glättungskonstante α folgendermaßen:

$$M_t = \alpha X_{t-1} + (1 - \alpha)M_{t-1}, \text{ mit } 0 < \alpha \leq 1, t \geq 3 \quad (3.2)$$

Weitere Methoden zur Analyse von Zeitreihen können implementiert und hinzugefügt werden. Zur Analyse von Daten, deren horizontale Werte keine feste Frequenz haben, kann zum Beispiel *lineare Least-Squares-Regression* (meist als lineare Regression bezeichnet) eingesetzt werden [Raw+98, S. 2-4]. Die Grundlage der linearen Regression ist die Annahme, dass die horizontale und vertikale Variable, bezeichnet als X_i und Y_i , linear zusammenhängen. Dies lässt auf eine Funktionsgleichung einer Geraden für das erwartete Mittel \hat{Y}_i für jedes $X_i, i = 1, \dots, n$ schließen:

$$\hat{Y}_i = \hat{\beta} + \hat{\alpha}X_i \quad (3.3)$$

$\hat{\alpha}$ und $\hat{\beta}$ sind hierbei Schätzungen der Parameter der Liniengleichung. Ziel der linearen Regression ist es, diese beiden Parameter zu ermitteln. Eine ausführliche

Herleitung zu der Berechnung findet sich in [Raw+98, S. 4], an dieser Stelle wird jedoch nur die Berechnungsvorschrift für $\hat{\alpha}$ und $\hat{\beta}$ dargestellt:

$$\hat{\alpha} = \frac{n \times \sum X_i Y_i - (\sum X_i)(\sum Y_i)}{n \times \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \quad (3.4)$$

$$\hat{\beta} = \frac{\sum Y_i - \hat{\alpha} \sum X_i}{n} \quad (3.5)$$

Mittels Gleichung 3.3 lassen sich durch Einsetzen von Werten einzelne Punkte der Linie ausrechnen und somit in der SVG-Grafik darstellen. Die Trendlinien werden wie die in Kapitel 3.3.2 beschriebenen Linien dargestellt, mit einem Unterschied: Es werden in keinem Fall Datenpunkte auf den Linien visuell angezeigt, da es sich um nur um berechnete Schätzungen und keine tatsächlich gemessenen Werte handelt und sie leicht mit den übrigen Punkten des Punktdiagramms verwechselt werden könnten. Audiolabels werden trotzdem erzeugt, um Werte der Trendlinie ablesen zu können. Sie enthalten jedoch die Information, dass es sich um eine Trendlinie handelt und mit welchem Verfahren sie berechnet wurde.

Die Darstellung der Trendlinien kann zunächst nur für alle Punktreihen gleichzeitig aktiviert werden. Die Wahl einzelner Datenreihen zur Darstellung von Trendlinien kann in der Zukunft implementiert werden. Um leichter lesbare Diagramme zu erhalten, gibt es außerdem die Option, die Datenpunkte auszublenden und nur die Trendlinien anzuzeigen.

In der Legende wird bei der Anzeige von Trendlinien vom Standardvorgehen, die Linien zuerst darzustellen, abgewichen: An oberster Stelle werden die Punkte dargestellt, gefolgt von den Linien. Der Grund dafür ist, dass die Datenpunkte die eigentliche Berechnungsgrundlage für die Linien sind und daher zuerst präsentiert werden sollten. Die Bildbeschreibung für Punktdiagramme mit eingezeichneten Trendlinien wird um folgenden Baustein erweitert:

Zu [jeder | der] Datenreihe wird eine Trendlinie, die mit dem Verfahren {Name_Verfahren_Trendlinie} berechnet wurde, dargestellt.

[Die Maximal- bzw. Minimalwerte der Trendlinien sind:

- {Name_Reihe_1}: {Max_Reihe_1}; {Min_Reihe_1}
- ...]

Die Maxima und Minima der Trendlinien werden nur dargestellt, wenn diese mit lokalen Verfahren berechnet wurden. Lokale Verfahren sind bis auf die lineare Regression alle bisher implementierten Verfahren. Die Form für Maxima bzw.

3.3 Darstellung ausgewählter Diagrammtypen und zusätzlicher Hilfsmittel

Minima ist: [min | max]({Horizontaler_Wert} | {Vertikaler_Wert}). Werden dagegen die ursprünglichen Datenpunkte nicht dargestellt, wird die Beschreibung der Datenreihen abgewandelt und lautet wie folgt:

Bei den dargestellten Linien handelt es sich um Trendlinien, die mit dem Verfahren {Name_Verfahren} berechnet wurden. Es werden {Anzahl_Datenreihen} Datenreihen dargestellt:

- {Name_Reihe_1}
- ...

[Die Maximal- bzw. Minimalwerte der Trendlinien sind:

- {Name_Reihe_1}: {Max_Reihe_1}; {Min_Reihe_1}
- ...]

Sortierung nominaler Daten

Nominale Daten unterliegen im Gegensatz zu ordinalen und metrischen Daten keiner bestimmten Ordnung. Daher kann in Balkendiagrammen die Sortierung der Balken genutzt werden, um eine bestimmte Aussage des Diagramms hervorzuheben. Da die Leserichtung typischerweise von links nach rechts verläuft, wird auch der Balken, der am weitesten links steht, zuerst gelesen. Wird das Balkendiagramm nach dem größten Wert sortiert, möchte der Ersteller auf diesen einen Fokus legen. Ein Beispiel, wie eine Sortierung bei der Interpretation hilfreich sein kann, ist in Abbildung 3.13 zu sehen.

Ein Beispiel, wie die Sortierung den Fokus der Leser lenken kann, ist ein Diagramm, welches das Bruttoinlandsprodukt (BIP) pro Kopf im Ländervergleich als Indikator für die Stärke der Wirtschaft darstellt. Die Sortierung nach dem größten Wert würde also die wirtschaftlich stärksten Länder hervorheben. Im Kontext der Entwicklungshilfe könnte man jedoch nach dem geringsten BIP pro Kopf sortieren und somit die Länder, die eine Förderung besonders benötigen, herausstellen. Wird alphabetisch nach den Ländernamen sortiert, wäre die Aussage neutral und das Diagramm wäre eher zur Suche nach dem BIP pro Kopf eines bestimmten Land geeignet.

Bei gestapelten Balkendiagrammen ist es denkbar, nach der Gesamthöhe der Balken oder nach einzelnen Datenreihen zu sortieren. Ersteres ist sinnvoll, wenn die Datenreihen einer Kategorie entspringen, deren Summe eine bestimmte Bedeutung hat. Zum Beispiel könnten als Datenreihen die Einnahmen aus Verkäu-

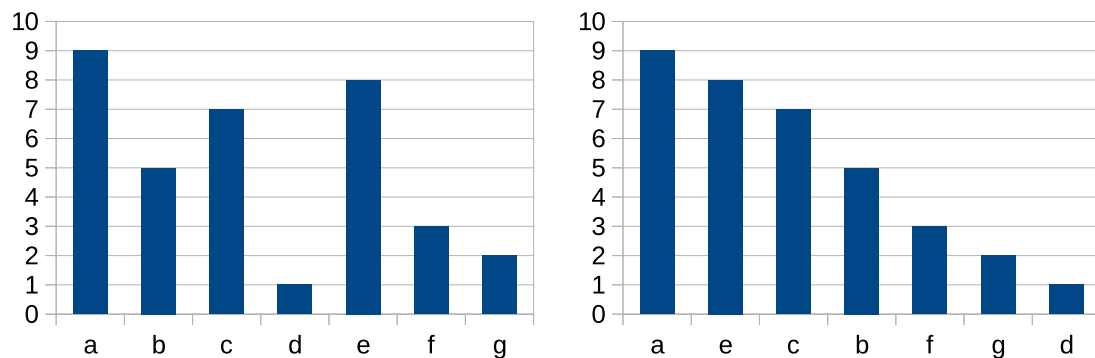


Abbildung 3.13: Im links dargestellten Balkendiagramm sind die Suche nach Maxima bzw. Minima sowie der Vergleich der Daten mühsam. Rechts fällt dies leichter, da die Balken absteigend nach ihrem Wert sortiert wurden.

fen bestimmter Produktkategorien in verschiedene Länder gewählt werden. Die Summe jedes Balkens wären also die Gesamteinnahmen aus den Verkäufen in das jeweilige Land. Zum Erkennen des profitabelsten Marktes ist eine Sortierung nach der Balkenhöhe möglich.

Die Sortierung nach einzelnen Datenreihen ist dagegen sinnvoll, wenn ein bestimmtes Merkmal herausgestellt werden soll. Ein Beispiel ist das Diagramm aus [Yau11, S. 151], das aus Umfragedaten die Zustimmungsraten zur Politik des ehemaligen US-Präsidenten Barack Obama in verschiedenen Bereichen visualisiert. Es werden drei Datenreihen dargestellt – *Zustimmung*, *Ablehnung* und *keine Meinung*. Jeder Balken entspricht einem politischen Thema (z.B. Bildung). Die Balken stellen prozentuale Werte dar, sind also gleich hoch und sind nach der Zustimmung sortiert. Somit lässt sich leicht ablesen, welches die am positivsten bewerteten Themen aus Obamas Politik sind.

Alle beschriebenen Sortierungsmöglichkeiten werden implementiert, wobei auch die Möglichkeit belassen wird, die ursprüngliche Sortierung der Daten beizubehalten.

3.4 Zusammenfassung

Die in diesem Kapitel vorgestellten Konzepte zur zugänglichen Darstellung von Daten sind eine Grundlage, auf der weitere Konzepte für andere Diagrammtypen oder die Verfeinerung der bestehenden Typen entwickelt werden können. Die vorgestellten Diagramme erlauben die Darstellung von metrischen, ordinalen und nominalen Daten in verschiedenen Formen, zusammen mit Hilfsmitteln, mit denen

die Interpretation erleichtert wird. Auf Basis des Rahmenwerks bestehend aus dem Grundaufbau der Diagramme, der Legende und der Bildbeschreibung lassen sich bereits weitere Diagrammtypen konzipieren, die ein Koordinatensystem als Grundlage nutzen. Beispielsweise könnten dies Flächendiagramme, horizontale Balkendiagramme oder Blasendiagramme sein.

Auf Grundlage der vorgestellten Konzepte wird im folgenden Kapitel die Implementierung einer Software zum Erstellen von zugänglichen Punkt-, Linien- und Balkendiagrammen vorgestellt, mit der blinde, sehbehinderte und sehende Menschen füreinander und in Kollaboration arbeiten können.

4 Implementierung

Anhand der Konzeption wurde die ursprüngliche Version von SVGPlott erweitert. In diesem Kapitel werden Aspekte der Implementierung und Funktionalität der Software beschrieben. Zunächst wird in Kapitel 4.1 beschrieben, wie die Software auf der Kommandozeile bedient werden kann. Dies wird anhand von Beispielaufrufen und ihrer Ergebnisse verdeutlicht. Dadurch werden die wichtigsten neu implementierten Funktionen demonstriert. In Kapitel 4.3 wird das Format der zur Dateneingabe nötigen CSV-Dateien beschrieben. Daraufhin werden in Kapitel 4.2 die wichtigsten Aspekte der Softwarearchitektur erläutert. Abschließend werden in Kapitel 4.4 die Anforderungen aus Kapitel 3.1 erneut aufgegriffen und beschrieben, wie und in welchem Umfang diese umgesetzt wurden.

4.1 Funktionalität und Bedienung von SVGPlott

Mit SVGPlott lassen sich nun neben den bereits vorhandenen Funktionsgraphen Punkt-, Linien- und Balkendiagramme erzeugen. Für erstere wurden Trendlinien implementiert, für Diagramme mit einer nominalen Achse werden Sortierfunktionen bereitgestellt. Um die Diagramme darstellen zu können, wurde die originale Darstellung des Koordinatensystems um nominale Achsen, verschiedene Darstellungsoptionen und Achsentitel und -Beschriftungen erweitert (siehe Kapitel 3.2.1). Weiterhin stellt SVGPlott nun Hilfsmittel zur Farbwahl, eine automatische Skalierung der Diagrammfläche auf die Daten und eine Auswahl an Konfigurationsmöglichkeiten bereit. In diesem Kapitel wird die Funktionalität von SVGPlott anhand von beispielhaften Programmaufrufen beschrieben. Dazu werden zunächst der grundlegende Programmaufruf und die wichtigsten Kommandozeilenparameter aufgelistet. Das dazu nötige Format der CSV-Dateien wird in Kapitel 4.3 beschrieben.

4.1.1 Verwendung von SVGPlott durch Kommandozeilenparameter

SVGPlott lässt sich durch folgenden Aufruf starten (der `functions`-Parameter ist nur für Funktionsgraphen nötig):

```
$ java -jar svgplot.jar [options] [functions]
```

Der wichtigste Parameter dient der Auswahl des Diagrammtyps (`--diagramtype <type>`) und bestimmt weitere mögliche Parameter. Ob Balkendiagramme gruppiert oder gestapelt sind kann mit `--baraccumulation` gewählt werden. Die Daten werden mit Hilfe mehrerer Parameter übermittelt: Es werden der Pfad der Eingabedatei (`--csvpath`), ihr Format (`--csvtype <type>`), für Beschreibungen der Typen siehe Kapitel 4.3) und ihre Orientierung (`--csvorientation <horizontal|vertical>`) festgelegt. Eine Ausgabedatei kann durch den Parameter `--output <filename>` gewählt werden.

Mit diesen Parametern lassen sich bereits Diagramme ohne Hilfsmittel erzeugen, jedoch sollte mit weiteren Parametern das Aussehen des Diagramms definiert werden. Grundlegend dafür ist die Größe des Diagramms (`--size`), die standardmäßig auf DIN A4 im Hochformat gesetzt ist. Der Stil des Diagramms lässt sich weiterhin einerseits über vorgegebene Möglichkeiten zur Wahl eines Ausgabegerätes (`--device <device>`) definieren, andererseits kann er auch durch die Angabe von zusätzlichen CSS-Anweisungen direkt oder aus einer Datei (`--css <css|file>`) angepasst werden. Weiterhin ist es möglich, die Reihenfolge der Farbwahl für farbige Stile festzulegen (`--color <color1> [color2 [...]]`).

Der Titel des Diagramm wird über den Parameter `--title <title>` definiert. Die Achsen und das Gitter des Diagramms sind über weitere Parameter konfigurierbar. Ob die horizontale Achse metrisch oder nominal bzw. ordinal ist, wird bereits über den Parameter `--csvtype` impliziert. Konfigurierbar sind die Achsenbereiche und -titel (`--xrange <range>` bzw. `--yrange [title:]<range>`) und -einheiten (`--xunit <unit>` bzw. `--yunit <unit>`) und ob ein horizontales oder/und vertikales Gitter angezeigt wird (`--hgrid <on|off>` bzw. `--vgrid <on|off>`). Es ist möglich, die Achsenbereiche automatisch aus den Daten berechnen zu lassen (`--autoscale`). Angegebene Achsenbereiche werden auf jeden Fall dargestellt. Reichen die horizontalen Werte der Daten z.B. von 0 bis 10 und wurde ein horizontaler Bereich von -5 bis 5 angegeben, so wird der Bereich von -5 bis 10 dargestellt.

Die weiteren Parameter sind abhängig vom Diagrammtyp, da sie die Hilfsmittel definieren. Trendlinien für Punktdiagramme werden mit `--trendline <algorithm> [param1 [param2 [...]]]` definiert. Die Anzahl der Parameter (siehe Kapitel 3.12) variiert dabei. Für Balkendiagramme aktiviert `--sorting <algorithm>` die aufsteigende Sortierung; der Parameter `--descending` kehrt die Reihenfolge um.

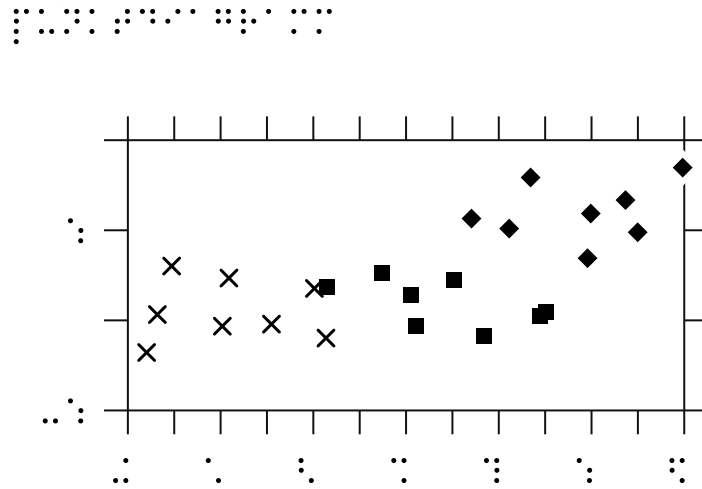


Abbildung 4.1: Mit SVGPlott erzeugtes Punktdiagramm.

4.1.2 Beispielaufrufe und -ausgaben von SVGPlott

Nachfolgend wird anhand einiger Beispiele gezeigt, wie mit SVGPlott Diagramme automatisch erzeugt werden können. Alle Diagramme haben das Format DIN A5 und sind verkleinert. Die Texte werden zur besseren Lesbarkeit teilweise in Druckschrift statt Brailleschrift dargestellt.

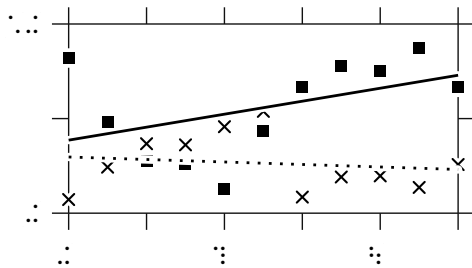
Das erste Diagramm in Abbildung 4.1 ist ein Punktdiagramm. Es enthält drei Datenreihen und wird ohne Achsentitel dargestellt. Zu sehen ist, dass sich überlappende Punktsymbole keinen Abstand zueinander haben, während das Punktsymbol, das rechts oben die Achse schneidet, einen Abstand zu ihr einhält. Gitterlinien werden nicht dargestellt. Der zugehörige Programmaufruf lautet wie folgt:

```
$ java -jar ../svg-plott.jar --diagramtype ScatterPlot
--title Punktdiagramm --csvtype dots --csvorientation
horizontal
--csvpath ./points_h.csv --output Punktdiagramm.svg
--size "210,148" --autoscale
```

In Abbildung 4.2 werden zusätzlich zu einem Punktdiagramm zwei Trendlinien (zu der Beschreibung der Berechnungsverfahren siehe Kapitel 3.12) dargestellt. Die Trendlinien im ersten Diagramm wurden mit linearer Regression berechnet. Folgender Aufruf von SVGPlott wurde dazu verwendet:

```
java -jar ../svg-plott.jar --diagramtype ScatterPlot
--title Trendlinien --csvtype x_aligned
```

SVGPlott



Trendlinien

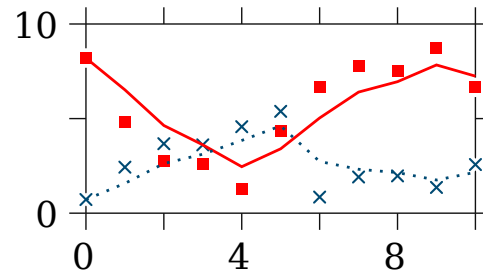


Abbildung 4.2: Mit SVGPlott erzeugte Punktdiagramme mit Trendlinien. Links: mit linearer Regression berechnet. Rechts: mit exponentieller Glättung berechnet, in manuell gewählten Farben.

```
--csvorientation vertical --csvpath ./trend.csv
--output Trendlinien_LR.svg --size "210,148" --autoscale
--trendline LinearRegression
```

Für die Berechnung der Trendlinie im zweiten Diagramm aus den gleichen Daten kam die exponentielle Glättung zum Einsatz. Der Programmaufruf dazu lautet folgendermaßen:

```
java -jar ../svg-plott.jar --diagramtype ScatterPlot
--device ScreenColor --color rot blau --title Trendlinien
--csvtype x_aligned --csvorientation vertical
--csvpath ./trend.csv --output Trendlinien_ES.svg
--size "210,148" --autoscale --trendline ExponentialSmoothing
0.5
```

In Abbildung 4.3 ist ein Liniendiagramm dargestellt. Zu sehen sind drei Datenreihen, horizontale Gitterlinien und ein Titel an der horizontalen Achse, der auch die Einheit der Achse enthält. Erkennbar ist, dass entsprechend der Guidelines schwächere Linien stärkere Linien unterbrechen. Alle Linien unterbrechen außerdem das Gitter und die Achsen. Die Skalierung erfolgte automatisch, jedoch wurde der Bereich von 0 bis 1 vorgegeben und wird daher zusätzlich dargestellt. Der Programmaufruf zur Erzeugung des Diagramms lautet:

```
java -jar ../svg-plott.jar --diagramtype Linechart
--title Liniendiagramm --csvtype x_aligned
--csvorientation vertical --csvpath ./lines_v.csv
--output Liniendiagramm.svg --size "210,148" --autoscale
--hgrid on --xrange "Dauer::0:1" --xunit "s"
```

Liniendiagramm

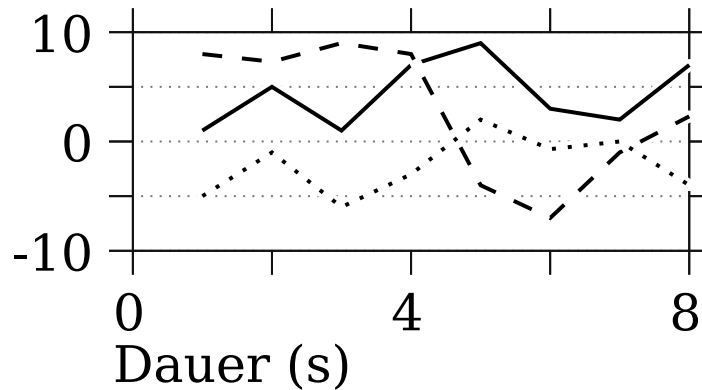


Abbildung 4.3: Mit SVGPlott erzeugtes Liniendiagramm.

Abbildung 4.4 beinhaltet zwei Balkendiagramme. Das erste davon gruppiert die Balken dreier Datenreihen und ist wie die vorherigen Diagramme für den Tiger Embosser optimiert. Das zweite Balkendiagramm ist gestapelt und zum Farbdruck mit den vorausgewählten Farben geeignet. Folgender Programmaufruf erzeugt ersteres Diagramm:

```
java -jar ../svg-plott.jar --diagramtype BarChart
--title "Gruppiertes Balkendiagramm"
--csvtype x_aligned_categories --csvorientation vertical
--csvpath ./bars_g_v.csv --output Balkendiagramm_gruppiert.
svg
--size "210,148" --autoscale --hgrid on
```

Das zweite Balkendiagramm wurde mit folgendem Aufruf erzeugt:

```
java -jar ../svg-plott.jar --diagramtype BarChart
--title "Gestapeltes Balkendiagramm" --baraccumulation
stacked
--device ScreenColor --csvtype x_aligned_categories
--csvorientation vertical --csvpath ./bars_s_v.csv
--output Balkendiagramm_gestapelt.svg --size "210,148"
--autoscale --hgrid on
```

Die gezeigten Beispiele verdeutlichen die flexible Funktionalität der Weiterentwicklung von SVGPlott. Weitere Diagrammtypen und -stile lassen sich dank der erweiterbaren Architektur unter Wiederverwendung existierender Komponenten

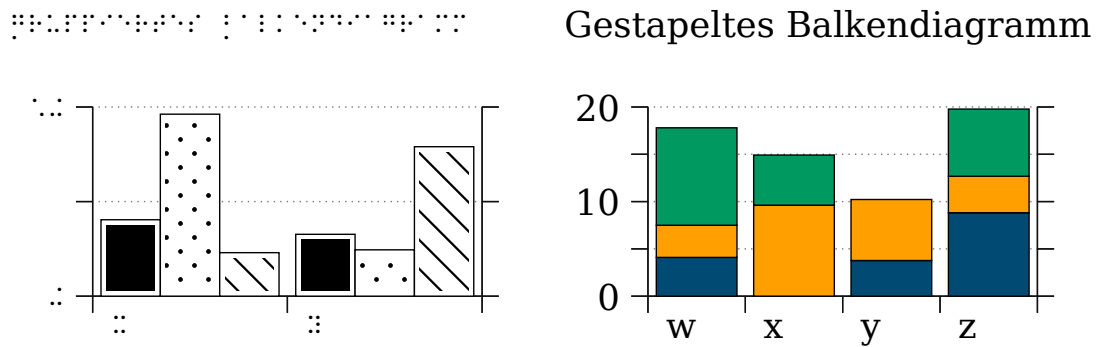


Abbildung 4.4: Mit SVGPlott erzeugte Balkendiagramme. Links: gruppiertes Balkendiagramm. Rechts: gestapeltes Balkendiagramm in Farbe

implementieren. Im folgenden Kapitel wird dazu die Architektur von SVGPlott vorgestellt und es werden die wichtigsten Abläufe der Diagrammerstellung erläutert.

4.2 Architektur

In Kapitel 3.1.3 wurde die Forderung nach Erweiterbarkeit gestellt. Um diese zu erfüllen, ist eine flexible Architektur mit austauschbaren und wiederverwendbaren Komponenten nötig. Da die bisherige Architektur von SVGPlott nur den Anwendungsfall der Funktionsgraphen abdeckte, war sie weitgehend monolithisch gestaltet und musste modularisiert werden. In diesem Kapitel werden die wichtigsten Bestandteile der Architektur beschrieben. Diese sind in Abbildung 4.2 in einem Komponentendiagramm dargestellt.

Die grundlegende Komponente, die den Programmablauf steuert ist der *SVG Creator*. Darin enthalten sind Klassen, deren gemeinsame Oberklasse **SVGCreator** ist und die für jeden Diagrammtyp die Erzeugung steuern. Durch einen Arbeitsfluss aus drei aufeinander folgenden Methodenaufrufen – **beforeCreate()**, **create()** und **afterCreate()** – kann die Reihenfolge des Ablaufes gesteuert werden, sodass bestehende Abläufe durch Vererbung verfeinert werden können. Dies ist nötig, da Verdeckung von SVG-Elementen durch ihre Reihenfolge bestimmt wird – einen *z-index* (wie in HTML unterstützt) gibt es nicht.

Ein Beispiel (siehe Abbildung 4.2) für den Ablauf ist die Erzeugung der Achsen und des Gitters, die für alle Diagrammtypen durch eine Oberklasse implementiert wurde. Als Vorbedingung wird in **beforeCreate()** das Koordinatensystem initialisiert, in **create()** wird es gezeichnet und **afterCreate()** zeichnet die Audio-Labels. Funktionalität zur Zwischenspeicherung der Audio-Labels war bereits in der Ori-

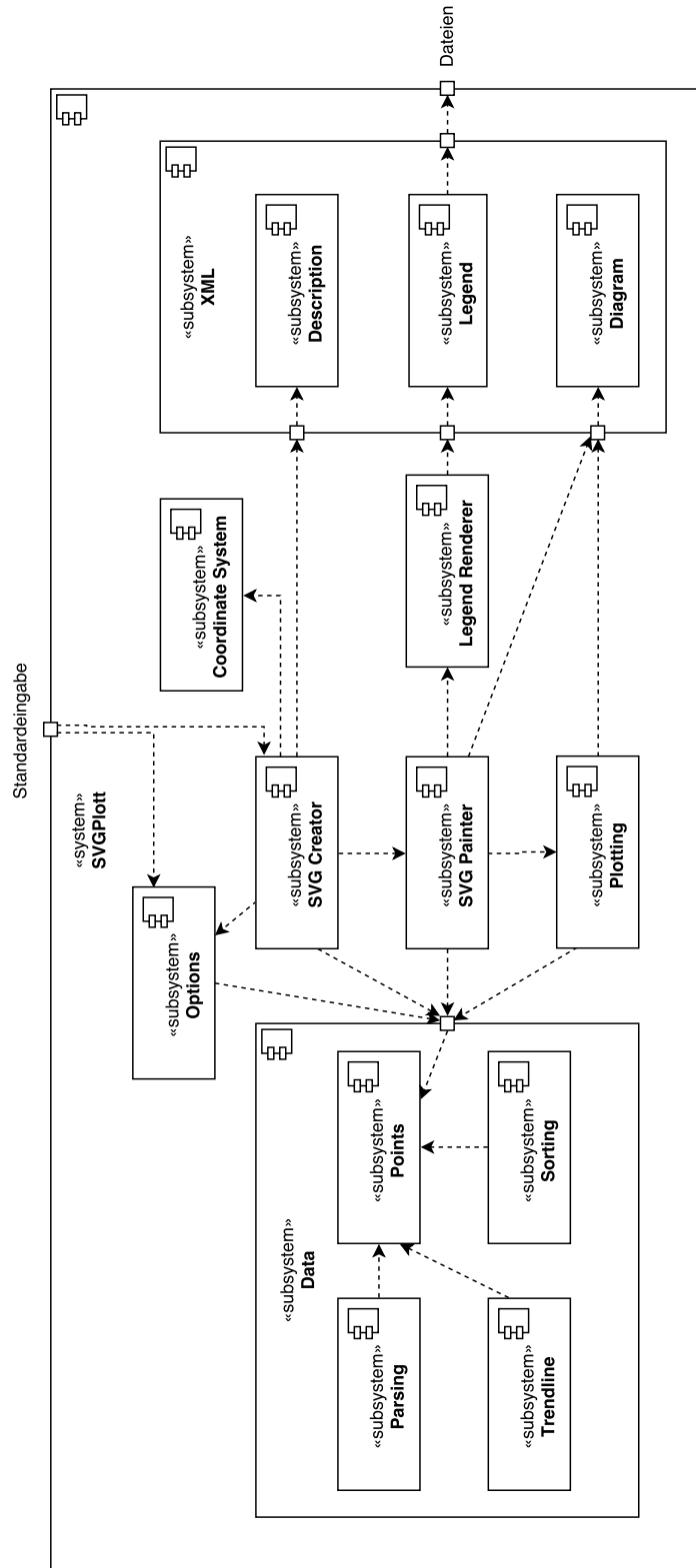


Abbildung 4.5: Architektur von SVGPlott als Komponentendiagramm. Das Koordinatensystem ist ein integrierender Bestandteil und wird von nahezu allen Komponenten genutzt, jedoch wird aus Gründen der Übersichtlichkeit nur die Verbindung zum SVG Creator dargestellt.

ginalversion von SVGPlott enthalten. Die davon erbenenden Klassen können dann ihren Code diesem Lebenszyklus anpassen und z.B. durch Überschreiben von `create()` ihre Elemente zwischen das Koordinatensystem und die Audio-Labels zeichnen.

Aus der Komponente SVG Creator werden innerhalb dieser drei Methoden die jeweiligen *SVG Painter* aufgerufen. Diese stehen für die Zeichenfunktionen, z.B. für Linien oder Balken. Für einfache Zeichenoperationen übernimmt der SVG Painter die Funktionalität, komplexere Aufgaben werden von der Komponente *Plotting* ausgeführt. Dies sind z.B. die Funktionen zum Zeichnen der Balken, da dort die Texturen generiert, zwischengespeichert und referenziert werden müssen. Der SVG Painter fügt zusätzlich die nötigen Legendenelemente zum *Legend Renderer* hinzu, der diese dann gesammelt in die Legende schreibt. Dazu wurden die in der ursprünglichen Version von SVGPlott verwendeten Befehle in eigene Klassen gekapselt. Die Trennung in SVG Creator und SVG Painter ermöglichen die Wiederverwendung der Zeichenfunktionen in anderen Diagrammtypen. Die dazugehörige Komponente *Coordinate System* repräsentiert das Koordinatensystem als Datenstruktur und wird von nahezu allen Komponenten verwendet. Die Funktionalität dazu wurde aus der ursprünglichen Version von SVGPlott übernommen.

Alle durch diese Komponenten ausgeführten Schreiboperationen werden in der Komponente XML widergespiegelt. Diese enthält Repräsentationen des Diagramms, der Legende und der Bildbeschreibung und war in dieser Form bereits in der Originalimplementierung vorhanden.

Die dem Diagramm zugrunde liegenden Daten werden in der in Abbildung 4.2 detaillierter dargestellten Komponente *Data* repräsentiert und weiterverarbeitet. Dazu gehört auch die Implementierung der Sortier- und Trendlinienfunktionalität, sowie die Komponente zum Parsen der Eingabedaten aus dem CSV-Format. Das CSV-Format ermöglicht einen einfachen Export aus LibreOffice Calc bzw. Microsoft Excel und wird im folgenden Kapitel beschrieben.

4.3 Eingabeformat

In diesem Kapitel wird das Format der zur Dateneingabe genutzten CSV-Dateien beschrieben. Grundsätzlich werden in dieser Arbeit drei verschiedene Formate unterschieden. Im ersten Datenformat, insbesondere nutzbar für Punktdiagramme, werden zu jedem Datenpunkt explizit der horizontale und der vertikale Wert definiert. Im zweiten Datenformat werden die horizontalen Werte nur einmal definiert – die Datenreihe beinhaltet dazu die jeweiligen vertikalen Werte. Dies ist eine Vereinfachung für Fälle, in denen mehrere Variablen in gleichen Intervallen abgetastet werden. Ein Beispiel dafür sind Zeitreihen. Ähnlich dazu ist das dritte

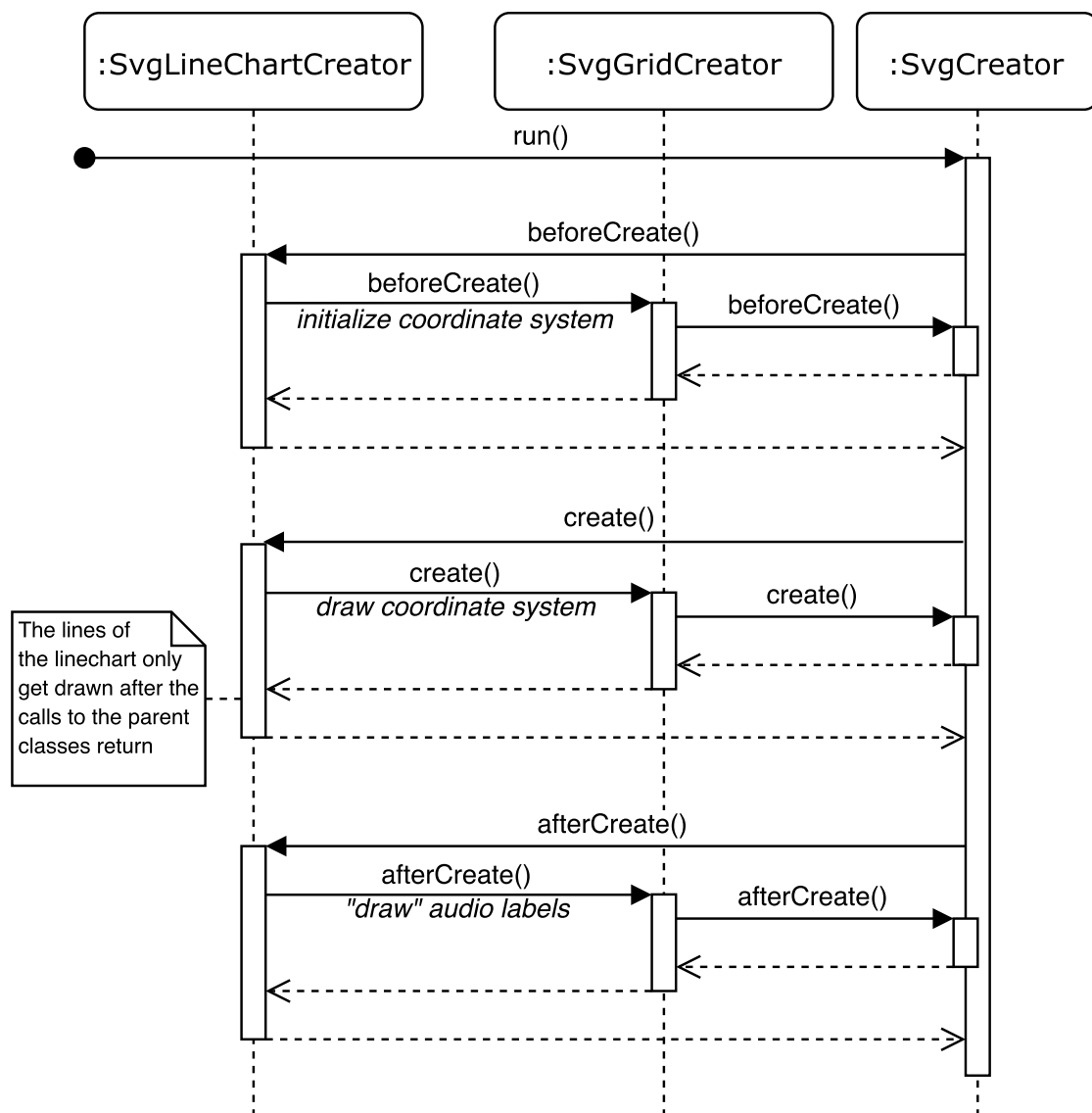


Abbildung 4.6: Sequenzdiagramm der Aufrufe in der Komponente SVG Creator zur Erzeugung eines Liniendiagramms. Es wird verdeutlicht, dass zunächst das Koordinatensystem initialisiert und dann gezeichnet wird, worauf die Linien des Liniendiagramms hinzugefügt werden. Erst danach werden die Audio-Labels erzeugt.

4 Implementierung

| Reihe a | | Reihe b | | Reihe c | |
|---------|-----|---------|----|---------|-----|
| x | y | x | y | x | y |
| 2 | 2,5 | 7 | -1 | -5 | 0 |
| 1 | 1,7 | 5 | -2 | -4 | 1 |
| 0,2 | -1 | | | -2 | 3,3 |

Reihe a,,Reihe b,,Reihe c,
2,"2,5",7,-1,-5,0
1,"1,7",5,-2,-4,1
"0,2",-1,,,-2,"3,3"

Abbildung 4.7: Links: Wertetabelle (vertikal) mit expliziter Notation der horizontalen und vertikalen Werte. Rechts: korrespondierende CSV-Datei.

Datenformat, das als horizontale Werte Namen von Kategorien definiert und für ordinale und nominale Daten nutzbar ist.

Jedes der Datenformate kann in zwei Varianten interpretiert werden. Bei der Variante, die nachfolgend jeweils beschrieben wird, stehen die Überschriften der Datenreihen in der ersten Zeile, die Datenreihen verlaufen somit vertikal. Durch Spiegelung an der Hauptdiagonalen entsteht das horizontale Format, bei dem die Titel der Datenreihen in der ersten Spalte stehen.

Um den nahtlosen Export aus LibreOffice Calc bzw. Microsoft Excel zu ermöglichen, werden die Konventionen für das CSV-Format deren Standardeinstellungen entsprechend gewählt. Die Trenner zwischen den Datenfeldern sind daher Kommata, Text wird mit doppelten Anführungszeichen umschlossen. Wie im deutschen Sprachraum üblich werden Kommata ebenfalls genutzt, um Dezimalstellen abzutrennen, weshalb nicht-ganze Zahlen in Anführungszeichen stehen müssen.

Das erste Format, das explizit horizontale und vertikale Werte angibt, ist in Abbildung 4.7 beispielhaft dargestellt. Jede Datenreihe füllt zwei Spalten aus; die erste steht für die horizontalen, die zweite für die vertikalen Werte. In der ersten Zeile der jeweils ersten Spalte steht der Titel der Datenreihe. Die Datenreihen können unterschiedlich lang sein. Fehlen Werte, wird dies durch aufeinanderfolgende Kommata dargestellt.

Sind die horizontalen Werte für jede Datenreihe gleich, ist es nicht nötig, sie jedes Mal zu wiederholen. Das zweite Datenformat (siehe Abbildung 4.8) ist für diesen Fall vereinfacht: Die horizontalen Werte stehen einmal in der ersten Spalte der Datei und tragen keinen Titel. Darauf folgen die Datenreihen in jeweils einer Spalte, deren Titel der Titel der Datenreihe ist. Auch in diesem Fall können einzelne Werte, z.B. bei Messlücken, weggelassen werden.

Ordinale und nominale Daten haben, da vorerst keine horizontalen Balkendiagramme unterstützt werden, stets eine Kategorie als horizontalen Wert. Wie im vorherigen Datenformat werden auch hier die horizontalen Werte (also die Ka-

| Zeit | Reihe a | Reihe b | Reihe c |
|------|---------|---------|---------|
| 1 | 3 | 2,5 | 1 |
| 3,5 | 4 | 3 | 2 |
| 5 | 4,5 | 3 | 1 |

```
,Reihe a,Reihe b,Reihe c
1,3,"2,5",1
"3,5",4,3,2
5,"4,5",3,1
```

Abbildung 4.8: Links: Wertetabelle für einen Datensatz, bei dem alle Datenreihen die gleichen horizontalen Werte teilen. Rechts: korrespondierende CSV-Datei.

| Kateg. | Reihe a | Reihe b | Reihe c |
|--------|---------|---------|---------|
| Kat. 1 | 3 | 2,5 | 1 |
| Kat. 2 | 4 | 3 | 2 |
| Kat. 3 | 4,5 | 3 | 1 |

```
,Reihe a,Reihe b,Reihe c
Kat. 1,3,"2,5",1
Kat. 2,4,3,2
Kat. 3,"4,5",3,1
```

Abbildung 4.9: Links: Wertetabelle für ein gruppiertes oder gestapeltes Balkendiagramm. Rechts: korrespondierende CSV-Datei. Die Balken werden nach den Kategorien, also *Kat. x* gruppiert. Sind die Daten ordinal, so definiert die Reihenfolge der Kategorien ihre Ordnung.

tegorien) für alle Datenreihen auf einmal angegeben (siehe Abbildung 4.9), um eine Gruppierung nach ihnen zu ermöglichen. Sie stehen ebenfalls in der ersten Spalte. Die Ordnung ordinaler Daten ist dabei durch Reihenfolge der Kategorien in der CSV-Datei bestimmt. Ein Beispiel dafür sind Zeitreihen, bei denen die Zeitvariable einen Monat oder einen Wochentag darstellt – die erste Datenzeile könnte z.B. mit “Jan” beginnen, die nächste mit “Feb” usw.

Die in diesem Kapitel vorgestellten Datenformate sind ausreichend, um mit LibreOffice Calc oder Microsoft Excel Tabellen zu erstellen, die dann mit SVGPlott in Diagramme umgesetzt werden. Wie in der Konzeption in Kapitel 3.1.3 beschrieben, ist eine zukünftige Erweiterung um komplexere Eingabeformate möglich.

4.4 Umsetzung der Anforderungen

In Kapitel 3.1.2 wurde eine Reihe Anforderungen an SVGPlott aus Nutzersicht formuliert. Diese wurden in zwei Oberkategorien unterteilt: Anforderungen an die Zugänglichkeit der Software und der Diagramme, sowie an die Bedienbarkeit der Software. Diese Anforderungen werden nun noch einmal aufgegriffen, um zu

4 Implementierung

verifizieren, inwieweit und mit welchen Mitteln sie umgesetzt wurden.

Als erste Forderung an die Zugänglichkeit wurde die Wahl einer *freien Softwarelizenz* gestellt. Die technische Konzeption basiert auf einer Kombination aus frei verwendbaren Datenformaten und der Programmiersprache Java mit Bibliotheken, die einer freien Lizenz unterliegen. Auf diese Art kann SVGPlott ebenfalls frei lizenziert werden. Auch eine kommerzielle Nutzung wird dadurch ermöglicht.

SVGPlott unterstützt wie gefordert *verschiedene Darstellungsformen*, die bei Bedarf erweitert werden können. Mittels CSS-Stylesheets werden bisher der Tiger Embosser und die Farbausgabe auf dem Bildschirm unterstützt. Die Nutzer können wie bereits in der ursprünglichen Version von SVGPlott eigene CSS-Befehle anhängen, um die Diagramme weiter zu formatieren.

In der Implementierung ist eine Vielzahl von Parametern vorhanden, von denen jedoch ein großer Anteil Standardeinstellungen besitzt. Dennoch ist für den *Einstieg in SVGPlott* die Konsultation der Hilfefunktion nötig. Die Namen der Parameter wurden konsistent zur ursprünglichen Version auf Englisch gewählt. Eine Übersetzung der Parameter sowie die Bereitstellung von Standardkonfigurationen könnten die Nutzung vereinfachen.

SVGPlott beinhaltet *Audio-Labels*, die Informationen zur Datenreihe des gewählten Punktes, den Koordinaten und der Farbe enthalten. Somit ist es geeignet, um audio-taktile Diagramme zu erzeugen. Die *Wahl der Farbwerte* wird den Nutzern durch Voreinstellungen abgenommen, sodass sie sich zwischen den Namen der Basic Color Terms entscheiden können. Auch eine Standardauswahl an Farben, die für Nutzer mit einer Farbfehlsichtigkeit unterscheidbar sind, wurde hinzugefügt. Dadurch und durch die Farbinformation in den Audio-Labels wird eine *zugängliche Farbdarstellung* ermöglicht.

Zur Bedienbarkeit wurde die Möglichkeit zur *Erweiterung* der Kommandozeilenanwendung um eine *zugängliche GUI* gefordert. Dies ist über zwei verschiedene Alternativen möglich. Als einfachere Variante kann SVGPlott aus der GUI-Applikation mit den Kommandozeilenparametern aufgerufen werden und das Ergebnis über die Ausgabepipe geladen werden. Durch den modularen Aufbau kann aus SVGPlott mit wenigen Anpassungen auch eine Java-Bibliothek extrahiert werden, die direkt in die GUI-Applikation eingebunden werden kann.

SVGPlott unterstützt die *Speicherung von Konfigurationen*, indem die Kommandozeilenparameter mit ihren Werten in einer Datei gespeichert und beim Aufruf der Software geladen werden. Wie erwähnt werden für die Mehrzahl der Parameter auch *Standardvorgaben* gewählt, die teilweise an die jeweilige Diagrammart angepasst sind.

Eine *selektive Darstellung* der Daten ist durch die manuelle Wahl der Achsenbereiche möglich. Diese können jedoch auch automatisch gewählt werden. Eine teilautomatische Wahl ist möglich, indem ein Bereich für die jeweilige Achse zu-

sammen mit der Option für die automatische Wahl angegeben wird. Dies führt dazu dass die manuelle Wahl so erweitert wird, dass die Daten enthalten sind.

Treten *Darstellungsprobleme* auf, z.B. wenn die Balken des Balkendiagramms zu klein zur Anzeige der Textur sind, oder kein Platz zur Darstellung der Achsenlabels ist, werden die Nutzer gewarnt. Es wurden bisher noch nicht viele Warnungen implementiert, weshalb eine Erweiterung hier sinnvoll ist. Damit können auch komplexere Situationen wie der Fall, in dem Ausreißer in Kombination mit der automatischen Skalierung dazu führen, dass sich fast alle Daten überlagern, abgedeckt werden.

Wie bereits in Kapitel 4.1.1 dargestellt, unterstützt SVGPlott mehrere Algorithmen zur Anzeige von Trendlinien für Punktdiagramme. Als weiteres Hilfsmittel wird die Sortierung nominaler Daten nach den Werten der ersten Datenreihe, der Summe aller Datenreihen je Kategorie, sowie alphabetisch unterstützt.

Die Anforderungen wurden somit nahezu vollständig erfüllt, wodurch SVG-Plott eine zugängliche Software zur Erstellung von Punkt-, Linien- und Balkendiagrammen ist. Sowohl die Benutzung der Diagramme als auch ihre Erstellung ist für blinde und sehende Menschen möglich; wird ein passender Diagrammstil hinzugefügt, können die Diagramme auch durch sehbehinderte Menschen, die eine Darstellung mit hohem Kontrast benötigen, benutzt werden.

5 Nutzerstudie zu den erstellten Diagrammen

Die in mit den in Kapitel 4 entwickelten Erweiterungen von SVGPlott erstellten taktilen Diagrammen sollen nun durch Nutzer getestet werden. Die dazu konzipierte Studie soll dazu dienen, die Qualität der Darstellungen zu evaluieren, sowie verbesserungswürdige Aspekte und insbesondere Meinungen zu den Diagrammen zu sammeln. Somit können Schwerpunkte für die weitere Forschung an taktilen Diagrammen festgelegt werden. Erweisen sich die Darstellungen in SVGPlott, die anhand der Ergebnisse dieser Studie verbessert werden können, als nutzbar und hilfreich, um Daten zu analysieren, können in weiteren Forschungsarbeiten auch die Audio-Labels und ihre Inhalte verfeinert und getestet werden.

Zu Beginn dieses Kapitels werden zunächst die Methoden und die Durchführung der Studie beschrieben. Daraufhin werden die Teilnehmer in Kapitel 5.2 kurz anhand der von ihnen angegebenen demografischen Daten vorgestellt. Kapitel 5.3 ist der detaillierten Auswertung der Ergebnisse gewidmet. Abschließend werden diese in Kapitel 5.4 unter Hervorhebung der wichtigsten Resultate zusammengefasst.

5.1 Methoden und Durchführung

Die Studie wurde persönlich mit zwei Probanden in einem ungestörten Raum durchgeführt. Die Probanden sollten sowohl Aufgaben mit den vorher mit einem Prägedrucker erstellten Diagrammen und Legenden durchführen als auch Bewertungen zu den Diagrammen und Teilaspekten abgeben. Die Durchführung der Studie dauerte jeweils ca. 2 Stunden. Während des gesamten Ablaufes wurden die Interaktionen der Probanden mit den Diagrammen zu Zwecken zukünftiger weiterer Auswertung gefilmt.

Der Ablauf der Studie wurde durch einen vorher angefertigten Fragebogen definiert. Dieser ist in Anhang A zu finden. Die Studie wurde in drei Teile gegliedert. Im ersten Teil wurden demografische Daten der Nutzer erhoben, sowie Fragen zur bisherigen Nutzung von Diagrammen gestellt. Der zweite Teil bestand aus Aufgaben zu mit SVGPlott erstellten taktilen Diagrammen (siehe Anhang B). Dazu wurde eine Unterteilung in vier Bereiche nach den Diagrammtypen gewählt: Bal-

kendiagramme, Liniendiagramme, Punktdiagramme und Punktdiagramme mit Trendlinien. Am Ende jedes dieser Bereiche wurden die Nutzer nach einer Bewertung verschiedener Aspekte der Darstellung mit Schulnoten von 1 (sehr gut) bis 6 (ungenügend) gefragt. Der dritte Teil der Studie bestand aus einer Abschlussbewertung der Diagrammformen und Fragen zur zukünftigen Weiterentwicklung von SVGPlott.

Ziel der Studie war es, qualitative Bewertungen zu den in SVGPlott neu implementierten taktilen Diagrammen zu erreichen. Daher wurden viele Fragen zunächst offen gestellt, um dann durch weitere Nachfragen detailliertere Antworten zu erhalten. Es sollten durch die Art der Befragung Schwerpunkte für die weitere Forschung und die zukünftige Weiterentwicklung von SVGPlott gefunden werden.

Details zu den in den einzelnen Aufgaben angewandten Methoden werden in Kapitel 5.3 beschrieben. Nachfolgend werden die Probanden, die an der Studie teilnahmen, kurz vorgestellt.

5.2 Teilnehmer an der Studie

Der erste Nutzertest wurde mit einer 34-jährigen von Geburt an blinden wissenschaftlichen Mitarbeiterin durchgeführt. Sie hat nur im beruflichen Umfeld mit Diagrammen zu tun und verwendet diese nicht zur eigenen Datenanalyse. Sie ist eine gute Anwenderin der Braille-Schrift, taktile Diagramme sind ihr bekannt, mit audio-taktilen Diagrammen hat sie jedoch kaum Erfahrungen. Sie hat bisher vor allem in ihrer Schullaufbahn und in ihrem Studium taktile Diagramme von Hand mittels eines Geometriekastens, sowie mit Werkzeugen wie einem Griffel und Nadeln selbst erstellt. Ihr sind Punkt-, Linien- und einfache Balkendiagramme bekannt. Gruppierte Balkendiagramme sind ihr zwar bekannt, jedoch hat sie diese nicht benutzt. Gestapelte Balkendiagramme sowie Punktdiagramme mit Trendlinien sind ihr unbekannt.

Der zweite Proband ist ein 24-jähriger, ca. seit dem zehnten bis elften Lebensjahr blinder Student. Er nutzt Diagramme hauptsächlich zur Visualisierung für andere, verwendet sie jedoch auch teilweise selbst zur Interpretation mathematischer Funktionen. Er ist mit taktilen Diagrammen vertraut, hat aber noch keine audio-taktilen Diagramme benutzt. Bisher erzeugt er nur visuelle Diagramme mit der Software gnuplot, die ihm die Kontrolle der Ergebnisse mit einer ascii-Ausgabe ermöglicht. Punkt-, Linien- und gruppierte Balkendiagramme sind ihm bekannt. Auch kennt er Punktdiagramme mit Trendlinien.

5.3 Auswertung der Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Studie ausgewertet. Aufgrund der geringen Teilnehmerzahl kann keine statistisch fundierte Auswertung stattfinden, dennoch kann die Qualität der gezeigten Diagramme verifiziert und von den Teilnehmern bewertet werden. Die Videoaufnahmen können zu einem späteren Zeitpunkt zur Untersuchung von Lesetechniken ausgewertet werden. Zunächst werden allgemeine Ergebnisse präsentiert, gefolgt von den einzelnen Diagrammtypen. Die zu den Ergebnissen klein abgebildeten Diagramme sind in Anhang B in voller Größe zu finden. Statt der Braille-Schrift wird zur besseren Lesbarkeit Normalschrift dargestellt. Zur Zuordnung zu den Aufgaben werden Kürzel wie zum Beispiel “B_allg” verwendet. Diese werden im Fragebogen (siehe Anhang A) bei den zugehörigen Fragen referenziert. Abschließend wird die Gesamtbewertung durch die Probanden betrachtet.

5.3.1 Allgemeine Ergebnisse

Die Probanden fanden sich in den Diagrammen im Allgemeinen leicht zurecht und bewerteten den Grundaufbau positiv. Die erste Probandin war lediglich von der nominalen Achse des ersten Balkendiagramms überrascht, da die erste Kategorie mit “x” bezeichnet wurde – sie ging davon aus, dass es sich bei dem Titel um die Bezeichnung als x-Achse handele. Die Frequenz der Achsenmarkierungen und -beschriftungen wurde positiv bewertet, wobei die erste Probandin äußerte, dass eine Erhöhung der Frequenz das Diagramm nur komplizierter machen würde. In den Aufgaben, bei denen die Teilnehmer die Konstellation der Achsen und des Gitters beschreiben sollten, wurden alle Merkmale, einschließlich der Achsenbereiche korrekt erkannt. Fehlte an der vertikalen Achse die Beschriftung des höchsten Wertes, brauchten beide Probanden einige Sekunden, bis sie den Achsenbereich richtig ablasen. Die Achsen trugen teilweise Titel, die gefunden und der Achse zugeordnet wurden. Die bei den Balken- und Liniendiagrammen eingezeichneten Gitterlinien wurden erkannt und zum Ablesen der Werte als hilfreich empfunden. Das Fehlen der Gitterlinien bei Punktdiagrammen wurde dennoch von beiden Teilnehmern positiv bewertet, da sie das Diagramm zu kompliziert machen würden. Der zweite Proband fand das Ablesen der Daten unabhängig von den Gitterlinien eher schwierig, da er es gewöhnt sei, dazu ein Lineal zu nutzen.

5.3.2 Balkendiagramme

Zur Untersuchung der Balkendiagramme bekamen die Probanden zunächst jeweils ein gruppiertes und ein gestapeltes Balkendiagramm (B_allg, Abbildung

5 Nutzerstudie zu den erstellten Diagrammen

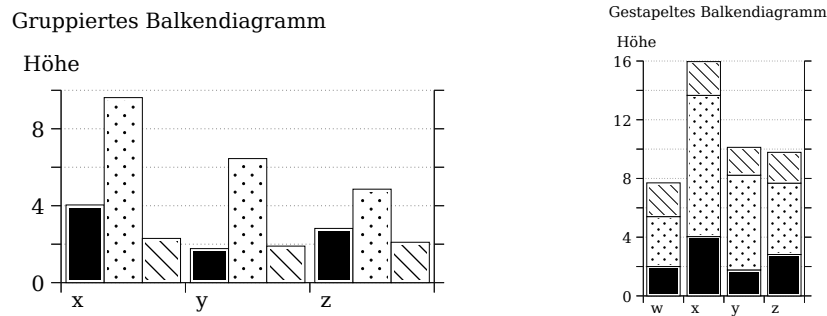


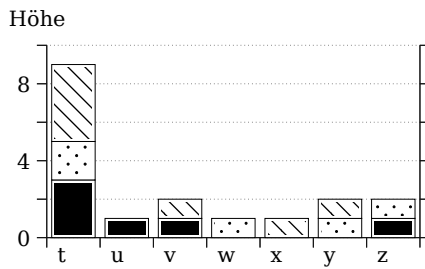
Abbildung 5.1: Balkendiagramme B_allg

5.1) vorgelegt. Sie wurden danach gebeten, den Aufbau beschreiben. Beide Testpersonen konnten das Diagramm ohne Probleme erfassen und gaben am Ende des Tests an, dass die Texturen optimal gewählt seien.

Vor der Befragung zur Texturqualität bekamen sie noch einmal jeweils ein gestapeltes und ein gruppiertes Balkendiagramm (B_niedrig bzw. B_schmal, Abbildung 5.2) gezeigt. Bei beiden Diagrammen wurden in jeder Kategorie bis zu zwei Werte auf null gesetzt. In der jeweils ersten Gruppe waren alle Werte als Referenz innerhalb des Diagramms vorhanden. Im gestapelten Fall wurden die Werte der angezeigten Balken so gewählt, dass die Höhe der Textur ca. 8mm beträgt, im gruppierten Diagramm wurden so viele Gruppen dargestellt, dass die Breite der Textur ca. 9mm beträgt. In den Richtlinien wird eine Kantenlänge der Textur von mindestens 13mm, besser 20mm gefordert. In die jeweils andere Dimension wurden die Balken gemäß der Richtlinien ausreichend groß dargestellt. Ziel dieses Versuchs war es, herauszufinden, ob im Fall der rechteckigen Balken die gewählten Texturen auch in einer Größe, die unter der in den Richtlinien geforderten liegt, erkennbar sind. Die Testpersonen sollten nennen, welche der dargestellten Datenreihen einen Wert größer als null hat. Beide Probanden machten dabei keine Fehler und empfanden die Aufgabe als einfach.

Somit ist davon auszugehen, dass nicht nur die Texturen sehr gut erkennbar sind, sondern dass sie auch dann, wenn eine der Seiten die in den Richtlinien geforderte Größe unterschreitet, noch identifiziert werden können. 8mm Höhe bzw. 9mm Breite können somit bedenkenlos gewählt werden. Ob sich dies auf die Lesegeschwindigkeit auswirkt und ob noch kleinere Texturen bzw. eine Unterschreitung des Richtwertes in beide Dimensionen möglich ist, kann in zukünftigen Studien untersucht werden.

Gestapeltes Balkendiagramm



Gruppiertes Balkendiagramm

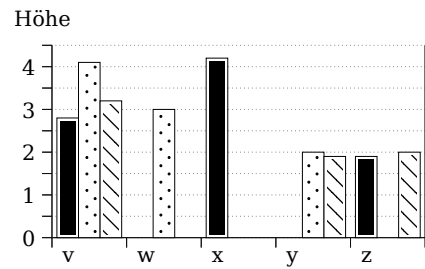
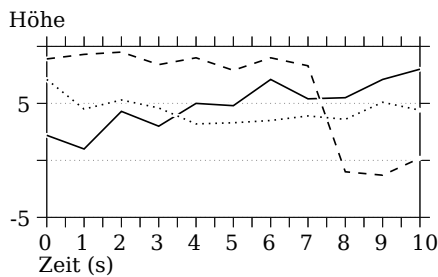


Abbildung 5.2: Balkendiagramme B_niedrig (links) und B_schmal (rechts)

Liniendiagramm



Liniendiagramm

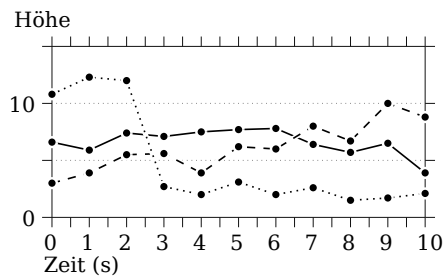


Abbildung 5.3: Liniendiagramme L_allg

5.3.3 Liniendiagramme

Ähnlich wie bei den Balkendiagrammen sollten sich die Probanden bei den Liniendiagrammen (L_allg, Abbildung 5.3, links) zunächst einen Überblick über das erste Diagramm verschaffen. Zum Einstieg wurde gefragt, wie viele Linien dargestellt wurden. Der zweite Proband bemerkte dabei zunächst Linie c (gestrichelt) nicht.

Daraufhin sollten die Testpersonen für das bereits gezeigte Diagramm die Linien verfolgen und charakterisieren, ob diese eher steigen, fallen oder konstant bleiben. Auffällig war, dass beide Probanden besonderen Wert auf lokale, geringe Richtungsänderungen legten. Daraufhin sollten sie die Schnittpunkte zwischen den Linien finden. Insgesamt gab es zwischen jedem Linienpaar einen Schnittpunkt. Während die erste Probandin zu jeder Datenreihe alle Schnittpunkte nannte, die Punkte also doppelt vorlas, nannte der zweite Proband jeden Schnittpunkt nur einmal. Mit einer Toleranz von einer Einheit wurden von beiden Testpersonen alle Schnittpunkte korrekt abgelesen.

Mit einem zweiten Liniendiagramm (Abbildung 5.3, rechts) sollten die Proban-

den die gleichen Aufgaben erfüllen. Dazu wurde das erste Diagramm modifiziert: Alle Datenpunkte wurden durch einen runden Punkt markiert. Die Linien wurden um 180° rotiert, transponiert und ihre Muster vertauscht. Somit sind die Ergebnisse zwischen den beiden Diagrammen vergleichbar. Hier fiel es den Probanden deutlich schwerer, die Linien voneinander zu unterscheiden, zu verfolgen und die Schnittpunkte abzulesen.

Als letzte Aufgabe sollten die Probanden in beiden Diagrammen Linien, die aus den gleichen Daten erzeugt wurden, verfolgen und einige von ihnen selbst gewählte markante Werte ablesen. Dabei konnten keine wesentlichen Unterschiede festgestellt werden. Eine Studie mit einer größeren Nutzerzahl und der Berechnung von durchschnittlichen Abweichungen kann hier eindeutigere Ergebnisse liefern.

Bei der Bewertung der Verfolgbarkeit der Linien befanden beide Probanden das gepunktete Muster als am leichtesten zu erkennen und zu verfolgen. Die erste Probandin fand das gestrichelte Muster schwerer zu verfolgen, insbesondere an Stellen, an denen es den Gitterlinien nahe kommt. Der zweite Proband fand im ersten Diagramm das durchgezogene Muster nicht ganz so leicht zu erkennen wie die anderen, im zweiten Diagramm fand er sowohl das gestrichelte als auch das durchgezogene Muster schwieriger zu erkennen. Beide Probanden fanden, dass die dargestellten Datenpunkte die Lesbarkeit erschweren, insbesondere bei der gestrichelten Linie. Die erste Probandin war jedoch der Meinung, dass in einer weniger komplexen Darstellung mit größeren Abständen zwischen den Datenpunkten durch ihre Darstellung auch die Lesbarkeit verbessert werden könnte.

5.3.4 Punktdiagramme

Zum Test der Punktdiagramme wurden zwei Darstellungen angefertigt. Im ersten Diagramm (P_symb, Abbildung 5.4, links) wurden Punkte mit drei verschiedenen Symbolen in vier Reihen und sechs Spalten ohne Gitter angeordnet. Dabei wurden die Positionen stets um einen geringen Zufallswert verschoben, um zu testen, ob die Symbole trotz der verschiedenen Rasterung durch die Prägemaschine erkennbar sind. Die Punkte in der linken und rechten Spalten lagen auf den Achslinien, um die Erkennbarkeit bei der Überlagerung zu überprüfen.

Das zweite Diagramm (P_streu, Abbildung 5.4, rechts) war ein Streudiagramm mit drei verschiedenen Datenreihen, die durch Sampling aus einer Kovarianzmatrix erzeugt wurden, um Punktwolken darzustellen. Eine Punktwolke hatte eine diagonale Ausrichtung, eine Punktwolke war kreisförmig und die dritte wurde waagrecht gestreckt ausgerichtet, wobei die Verteilung sehr unregelmäßig war. Einige der Symbole überlappten sich mit gleichen bzw. anderen Punktsymbolen.

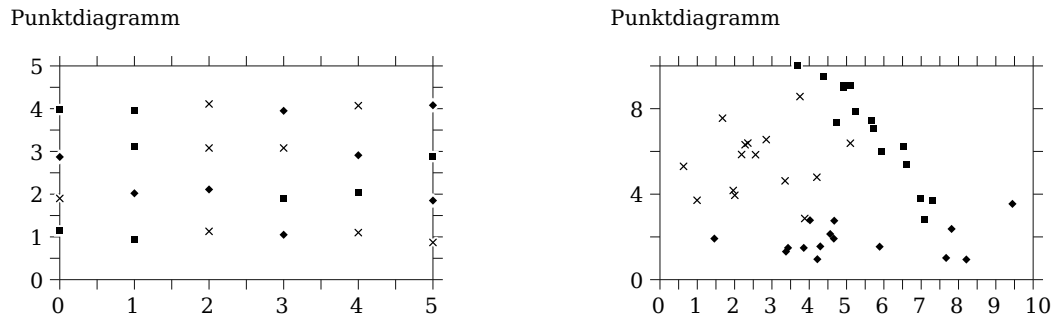


Abbildung 5.4: Punktdiagramme P_symb (links) und P_streu (rechts)

Als erste Aufgabe sollten beide Probanden im Streudiagramm zählen, wie viele verschiedene Punktsymbole dargestellt wurden. In beiden Fällen waren sie sich unsicher und tippten zunächst auf vier verschiedene Symboltypen, korrigierten die Anzahl dann jedoch korrekterweise auf drei.

Daraufhin bekamen die Probanden das andere Diagramm vorgelegt und sollten reihenweise ablesen, welches Symbol jeweils dargestellt wird. In beiden Fällen wurde bei den freistehenden Symbolen als einziger Fehler ein Rautensymbol (Reihe c) für ein Quadrat (Reihe a) gehalten. Bei den Symbolen, die auf den Achsenlinien liegen, traten bei der ersten Probandin drei, bei dem zweiten Probanden zwei Verwechslungen zwischen Symbolen der Reihe a und der Reihe c auf. Die Symbole der Reihe b wurden stets einwandfrei erkannt. Die Probanden gaben jedoch an, dass die Erkennung bei Überlagerungen mit der Achse schwierig sei. Daraus lässt sich schließen, dass als zukünftige Maßnahme bei der automatischen Berechnung der Achsbereiche von Punktdiagrammen ein Abstand zwischen den Punkten und Achsen eingehalten werden sollte.

Im Streudiagramm sollten die Probanden danach Stellen finden, an denen sich Symbole überlappen. Bis auf eine Überlagerung aus drei Symbolen schnitten sich jeweils nur zwei Symbole. Beide Probanden fanden nahezu alle diese Stellen, die erste Probandin nannte auch zwei Stellen, an denen die Symbole nur sehr nahe zusammen standen. Sie konnte bei keiner Gruppe alle Symboltypen korrekt identifizieren. Der zweite Proband benannte bei einigen der Gruppen alle Symbole korrekt, war sich jedoch besonders bei der Unterscheidung des Quadrats und der Raute unsicher. Eine Überlagerung aus zwei Kreuzen benannte er als zwei Quadrate.

In der nächsten Aufgabe sollten die Probanden die Punktwolken charakterisieren. Da die erste Probandin mit der Interpretation von Punktwolken als zusammenhängendes Konstrukt nicht vertraut war, sollte sie die Punkte jeder Datenreihe, die jeweils am weitesten links, oben, recht und unten lagen, finden.

Dies gelang ihr in den meisten Fällen, obwohl sie die Symbole als schwer unterscheidbar empfand. Der zweite Proband hatte einen Kurs zum Thema Machine Learning besucht, weshalb er mit dem Konzept der Punktwolken vertrauter war. Er konnte die diagonal verlaufende Wolke schnell charakterisieren. Bei der runden Wolke nahm er zunächst ebenfalls einen diagonalen Verlauf an, fand dann jedoch noch weitere Punkte, wodurch er die runde Form erkannte. Die dritte Wolke war zu unregelmäßig, um sie zu erkennen und zu beschreiben.

Die Bewertung der Symbole durch die Testpersonen fiel unterschiedlich, jedoch durchgängig schlechter als bei den Linien- und Balkentexturen aus. Die erste Probandin empfand das Quadrat und das Kreuz als leicht unterscheidbar, gab jedoch dem Quadrat und der Raute eine schlechte Bewertung in Bezug auf Erkennbarkeit, da sie diese als zu ähnlich empfand. Auch der zweite Proband empfand die Unterscheidbarkeit zwischen dem Quadrat und der Raute als schwierig, gab jedoch dem Kreuz die schlechteste Bewertung, da es durch das Raster der Prägemaschine bei jeder Darstellung eine andere Gestalt habe.

5.3.5 Punktdiagramme mit Trendlinien

Zur Bewertung von Punktdiagrammen mit Trendlinien wurden zunächst zwei Darstellungen (PT_Eis, Abbildung 5.5) erzeugt, in denen die monatlichen Verkaufszahlen zweier Eisdien als Datenpunkte dargestellt wurden. In der zweiten Variante wurde zu den beiden Datenreihen je eine Trendlinie hinzugefügt. Die Probanden sollten für die Darstellung ohne Trendlinien zunächst beschreiben, zu welchen Jahreszeiten welche Geschäftsstätte beliebter ist und dann besondere Abweichungen vom Trend nennen. Die gleichen Aufgaben sollten sie danach mit dem Diagramm mit Trendlinien erfüllen. Ziel war, herauszufinden, ob sich die Probanden aus der Darstellung ohne Trendlinien einen Trend vorstellen können und ein mentales Bild einer Trendlinie erzeugen können. Außerdem sollte herausgefunden werden, ob die Darstellung der Trendlinien die Analyse erleichtert.

Beide Probanden konnten die Werte in den jeweiligen Monaten gut vergleichen, jedoch fiel es der ersten Probandin schwer, Trends zu bestimmen, da ihr, wie sie eingangs erwähnte, das Konzept der Trendlinien unbekannt war und sie die Darstellung für zu komplex befand. Der zweite Proband konnte grobe Trends und Abweichungen davon nach einer Erklärung und Hilfestellungen erkennen. Er charakterisierte die Trendlinie im zweiten Beispiel als konservativ. Beide Probanden hatten somit Schwierigkeiten mit der Darstellung, die womöglich darauf zurückzuführen sind, dass sie mit dieser Art des Diagramms bisher nicht vertraut waren.

Bei der Bewertung der Darstellungen befanden beide Testpersonen die Punkte, die direkt auf den Trendlinien lagen, für erkennbar, wobei der zweite Proband noch einmal erwähnte, dass das Kreuzsymbol schwer lesbar sei. Er fand außer-

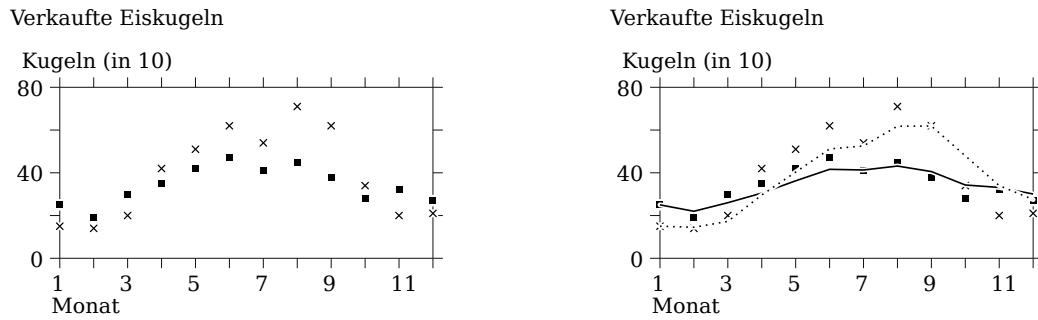


Abbildung 5.5: Punktdiagramme PT_Eis ohne (links) bzw. mit Trendlinie (rechts)

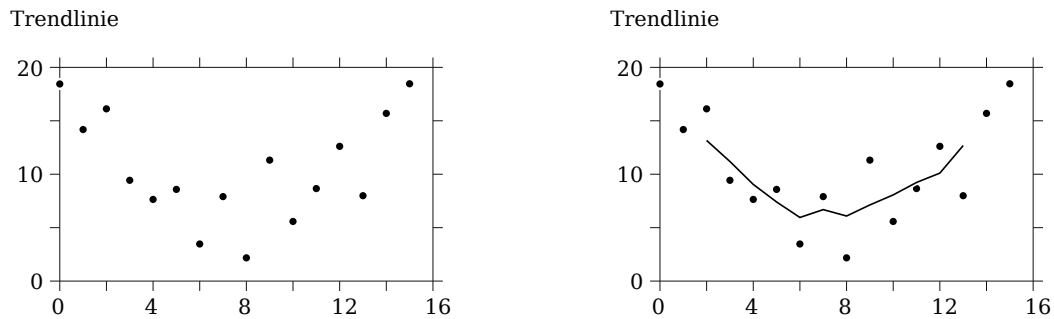


Abbildung 5.6: Punktdiagramme PT_Parabel ohne (links) bzw. mit Trendlinie (rechts)

dem, dass die Trendlinien die Erkennbarkeit des Trends und von Abweichungen erleichtern.

Der zweite Proband bekam nun noch Aufgaben zu einer weiteren Darstellung (PT_Parabel, Abbildung 5.6) mit einer Datenreihe und größerer Varianz innerhalb der Punkte gestellt, wieder jeweils ohne und mit Trendlinie. Er konnte bereits ohne Trendlinie den Verlauf des Trends sowie Abweichungen leicht erkennen und änderte seine Einschätzung, nachdem er die Darstellung mit der Trendlinie las, nicht.

Er bewertete daraufhin Trendlinien als hilfreich, wenn die Daten eine große Varianz und mehrfach wechselnde Trends haben. Die originalen Punkte würde er bei der Darstellung von nur einer Datenreihe in das Diagramm aufnehmen, werden mehrere Datenreihen dargestellt würde er die Punkte entfernen, da sie sonst die Darstellung zu komplex machen.

5.3.6 Abschlussbewertung durch die Teilnehmer der Studie

In der Abschlussbewertung sollten zunächst alle gezeigten Diagrammtypen rekapituliert und nach den Gesichtspunkten “Lesbarkeit”, “Nutzen zur Datenanalyse allgemein” und “Wahrscheinlichkeit der eigenen Verwendung” bewerten.

Beide Probanden waren sich einig, dass die Balkendiagramme am einfachsten lesbar waren. Die erste Testperson fand insbesondere die Balkendiagramme zur Datenanalyse sehr hilfreich und gab an, dass sie sie selbst gerne in der Zukunft verwenden möchte. Der zweite Proband befand den Nutzen zur Datenanalyse für etwas geringer und bewertete ihn für das gruppierte Balkendiagramm mit befriedigend. Für das gestapelte Balkendiagramm vergab er in Hinblick darauf, dass sie die Summe jeder Kategorie leicht ablesen lässt, eine gute Bewertung.

Das Liniendiagramm wurde von der ersten Teilnehmerin der Studie für sehr gut lesbar befunden, jedoch befand sie den Nutzen zur Analyse nur für befriedigend und gab an, dass sie Tabellen bevorzuge. Der zweite Teilnehmer hingegen fand die Lesbarkeit gut, gab aber den Nutzen zur Analyse als sehr gut an und würde Liniendiagramme zukünftig sehr gerne selbst verwenden.

Die erste Probandin fand die Lesbarkeit des Streudiagramm befriedigend, sah nur einen ausreichenden Nutzen zur Datenanalyse und gab an, dass sie diese Diagrammart ungern verwenden möchte. Der erste Proband bewertete die Lesbarkeit und den Nutzen zur Analyse von Daten jeweils eine Notenstufe besser, gab aber an, dass er Streudiagramme gerne verwenden möchte.

Die Punktdiagramme in fester Frequenz ohne bzw. mit Trendlinie wurden von beiden Teilnehmern als gut bewertet. Die erste Probandin fand den Nutzen zur Datenanalyse bei fehlender Trendlinie befriedigend. Die Einschätzung verbesserte sich für die Version mit Trendlinien auf gut. Eine eigene Verwendung der Darstellungen hält sie für unwahrscheinlich. Der zweite Proband gab dagegen den Nutzen der Punktdiagramme mit fester Frequenz ohne Trendlinie als sehr gut an; bei dargestellter Trendlinie bewertete er ihn mit gut. Dennoch würde er letztere Darstellung selbst lieber nutzen.

Weiterhin wurden die Teilnehmer gefragt, wie zufrieden sie mit der Zuordnung der Symbole/Texturen zur Reihenfolge der Datenreihe waren. Zur gezeigten Variante, bei der das erste und das zweite Symbol (bzw. die Textur) möglichst verschieden sind, wurde vorgeschlagen, die Symbole/Texturen nach ihrer Stärke zu ordnen. Beispielsweise könnte die erste Datenreihe eine durchgezogene Linie, die zweite Reihe eine gestrichelte und die dritte eine gepunktete Linie erhalten. Die Probanden waren jedoch mit der Reihenfolge zufrieden. Der zweite Proband fand die Reihenfolge irrelevant, schlug aber vor, den Symboltyp an die Daten anzupassen, sodass zum Beispiel dichtere Punktwolken kleinere Symbole bekommen, während bei mehreren Datenreihen besonders gut unterscheidbare Symbole gewählt werden.

Bei der Frage, ob die Testpersonen zur Bedienung der Software eine zugängliche GUI wünschen, oder lieber auf der Kommandozeile mit SVGPlott arbeiten würden, antwortete die erste Probandin, dass sie eher nicht auf der Kommandozeile arbeiten möchte. Der zweite Proband sprach sich dafür aus, beide Optionen zu ermöglichen. Während er für einfache Diagramme lieber eine GUI verwenden möchte, würde er für die Stapelverarbeitung die Kommandozeile bevorzugen.

Abschließend bewerteten beide Probanden die Diagramme und die Entwicklung der Software positiv und sagten, dass sie diese selbst gerne ausprobieren und nutzen würden. Die erste Probandin bemerkte, dass sie auch gerne mit der Software Kreisdiagramme und Zustandsübergangsdiagramme erstellen können möchte. Der zweite Proband nannte als Option asymmetrische Symbole, die den Bausteinen des Spiels Tetris nachempfunden sind. Beide Testpersonen sprachen sich für eine Verbesserung der Punktsymbole aus.

5.4 Zusammenfassung

Nach Abschluss der Bewertung der Studie werden in diesem Kapitel ihre wichtigsten Ergebnisse zusammengefasst. Die generelle Einschätzung der Probanden zu den Diagrammen ist positiv. Für alle der Diagrammtypen sieht mindestens eine der beiden Testpersonen die Möglichkeit, sie zur Datenanalyse zu nutzen. Auch die Antworten auf die Frage, ob die Teilnehmer die Diagramme selbst nutzen möchten, zeigte, dass es generell einen Bedarf an taktilen Diagrammen gibt.

Beide Teilnehmer verwenden taktile Diagramme eher unregelmäßig und waren mit einigen der Darstellungen wenig vertraut. Die positiven Rückmeldungen zeigen jedoch, dass einer der Gründe für die Präferenz vieler Menschen für anderen Darstellungsformen wie Tabellen (z.B. in [Gon+10b]) deren geringe Erfahrung mit taktilen Diagrammen ist. Eine bessere Verfügbarkeit von taktilen Darstellungen und damit die bessere Vertrautheit der Menschen damit könnte dabei helfen, dass diese Darstellungen besser angenommen werden. Die Teilnehmer konnten die ihnen eher unbekannten Darstellungen (Streudiagramme, gestapelte Balkendiagramme und Trendlinien in Punktdiagrammen) mit mündlicher Hilfestellung ohne Übung teilweise analysieren. Dies ist ein weiterer Hinweis darauf, dass diese Diagrammtypen durch Übung gut verstanden werden können und der Einschätzung der Teilnehmer entsprechend auch zur Datenanalyse nutzbar sein können.

Die Gestaltung der Diagramme wurde im Allgemeinen sehr gut angenommen. Ausnahmen waren hierbei die Darstellung der Datenpunkte auf den Linien von Liniendiagrammen, die gewählten Punktsymbole und deren Überschneidungen mit anderen Elementen. Im ersten Fall können als Lösung die Punkte weggelassen werden. Die Wahl der Punktsymbole muss überdacht werden. Anregungen der Teilnehmer sind dazu ein hohes Kreissymbol und den Tetris-Elementen ähn-

5 Nutzerstudie zu den erstellten Diagrammen

liche Symbole, sowie automatische Variationen in der Symbolwahl. Dazu sollten weitere Studien durchgeführt werden. Die Überschneidung von Punktsymbolen untereinander kann durch kleinere Symbole, die dann aber noch schwerer unterscheidbar sind, reduziert werden, sowie durch die Vergrößerung der Achsenbereiche, wenn sie automatisch gewählt werden. Weiterhin könnte die Größe der Flächentexturen weiter untersucht werden, da diese im Fall von texturierten Balken auch wenn sie kleiner als in den Richtlinien angegeben sind, erkannt werden können. Eine Modifikation der gestrichelten Linientextur ist, wie die erste Testperson anmerkte, ebenfalls denkbar.

6 Fazit und Ausblick

In dieser Arbeit wurde eine Software, die es Menschen unabhängig ihrer Sehfähigkeit ermöglicht, automatisiert taktile und visuelle Punkt-, Linien- und Balkendiagramme zu erzeugen, entwickelt. Die Diagramme wurden mit unsichtbaren Audio-Labels versehen, um ihre Nutzung als audio-taktile Diagramme zu ermöglichen. Um die Erzeugung farbiger visueller Diagramme durch blinde Menschen zu vereinfachen, wurde eine vorgegebene Farbauswahl aus allgemein bekannten Farbnamen, den sogenannten Basic Color Terms, hinzugefügt. Die Reihenfolge der Farben, sowie eine Vielzahl anderer visueller Parameter wurde anpassbar gestaltet, um weitere Anwendungsfälle und persönliche Präferenzen abzudecken. Um die Interpretation der Diagramme zu vereinfachen, wurden als weitere Hilfsmittel Algorithmen zur Berechnung und Darstellung von Trendlinien in Punktdiagrammen und eine Auswahl an Sortierfunktionen für Diagramme mit einer nominalen Achse implementiert. Sollte es zu bestimmten Problemen in der Darstellung kommen, werden die Nutzer gewarnt.

Als Gestaltungsgrundlage dienten dazu verschiedene Werke zu Richtlinien taktiler Diagramme, sowie die an der TU Dresden entwickelte Software SVGPlott. Diese brachte bereits wesentliche Gestaltungselemente, wie die Berechnung und Darstellung eines Koordinatensystems, Mechanismen zur Erzeugung von Audio-Labels oder eine Vorauswahl an Punkt- und Liniensymbolen mit sich. Anhand dieser Grundlagen wurden durch die Spezifikation von Problemszenarien Anforderungen an die Erweiterung von SVGPlott formuliert und weitgehend umgesetzt.

Die Architektur von SVGPlott wurde umfassend erweitert. Dadurch konnten die neuen Diagrammtypen unter der Wiederverwendung existierender Komponenten implementiert werden. Somit ist es auch in Zukunft möglich, weitere Diagramme und Stile hinzuzufügen. Besonders Wert gelegt wurde zusätzlich darauf, dass das Eingabeformat flexibel ist, um zum Beispiel den Export aus Microsoft Excel oder LibreOffice Calc zu ermöglichen. Es wurden mehrere wählbare Strukturen für die damit erzeugten CSV-Dateien definiert, um verschiedene Anwendungsfälle abzudecken.

Mit der erweiterten Version von SVGPlott wurden taktile Diagramme erzeugt, die die Grundlage einer Nutzerstudie bildeten. Allgemein trafen die Diagramme auf positive Reaktionen, jedoch waren sich die Probanden bezüglich der Nützlichkeit einzelner Diagrammtypen uneinig. Gründe dafür waren ihre geringe Erfahrung in der Datenanalyse mit den seltener vorkommenden Diagrammart, wie

dem Streudiagramm oder dem Punktdiagramm mit eingezeichneter Trendlinie, sowie die hohe Komplexität dieser Darstellungen. Dennoch wurde der Wunsch formuliert, weitere Darstellungsformen von Daten in SVGPlott aufzunehmen. Es wurden im Rahmen der Studie auch einige Darstellungsprobleme in den Diagrammen identifiziert. Dazu gehören die schlecht unterscheidbaren Punktsymbole und die abnehmende Lesbarkeit bei der Überlagerung von mehreren Elementen.

Die in der Studie genannten Kritikpunkte sind Ansatzpunkte für zukünftige Arbeiten. Die Teilnehmer schlugen außerdem vor, dass weitere Diagrammtypen entwickelt werden sollten. Dies könnten zum Beispiel Kreisdiagramme, Zustandsübergangsdiagramme, horizontale Balkendiagramme oder Flächendiagramme sein. Es können zusätzlich weitere Stile für verschiedene Anzeigemedien, sowie ein Hochkontrast-Stil für sehbehinderte Nutzer entwickelt werden.

Ein weiteres Thema, das in der Zukunft aufgegriffen werden könnte, ist die Qualität der Audio-Labels. Da zu ihrem Inhalt im Kontext der implementierten Diagrammtypen keine Studien vorliegen, ist eine Evaluation nötig. Hierbei könnte die intuitive Benutzbarkeit der Labels getestet werden. Es ist denkbar, die Geschwindigkeit und die Genauigkeit beim Ablesen von Werten zwischen taktilen und audio-taktilen Diagrammen zu vergleichen. Weiterhin können verschiedene Anordnungen der Inhalte miteinander verglichen werden. Audio-Labels haben auch zur Behebung eines Problems, das bei der Studie aufgetreten ist, großes Potential: Punktsymbole, die übereinander liegen, könnten so detailliert beschrieben werden. Ein Audio-Label über mehreren überlappenden Punktsymbolen könnte die Anzahl der Punkte, die zugehörige Datenreihe und ihre Koordinaten enthalten.

Auch das Koordinatensystem bietet eine Reihe an Möglichkeiten zur Erweiterung. Zum einen werden bisher nur lineare metrische Achsen und horizontale nominale Achsen unterstützt. Weitere Achstypen könnten zum Beispiel logarithmische Achsen oder Achsen mit einer qualitativen Einteilung für schematische Darstellungen sein. Für Letzteres könnte die explizite Angabe einzelner Achsenbeschriftungen vorteilhaft sein. Ein Beispiel dazu ist in Abbildung 6.1 dargestellt. Weitere Möglichkeiten zur Erweiterung sind die Implementierung zusätzlicher Algorithmen zur Berechnung der Achsen- bzw. Label- und Gitterabstände.

Neben der Erweiterung und Verbesserung der Diagramme sollten auch die Erlernbarkeit und Bedienbarkeit der Software verbessert werden. Ein Ansatz dazu ist die Entwicklung einer zugänglichen GUI. Jedoch könnte auch ein geführter Dialog auf der Kommandozeile, der beim Aufruf der Software ohne Parameter gestartet wird, die Bedienung vereinfachen. Als Parameter könnte für SVGPlott ein Schalter festgelegt werden, der die Speicherung der aktuell genutzten Konfiguration ermöglicht. Zusätzlich sollte die bereits vorhandene Ausgabe von Informations- und Warnmeldungen weiter ausgebaut werden, um für blinde Nutzer der Software die Kontrolle der Diagramme zu vereinfachen.

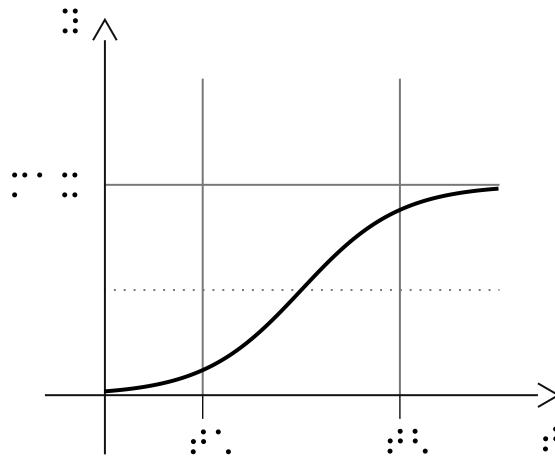


Abbildung 6.1: Diagramm mit qualitativen Achsenbeschriftungen ohne Skala

Es gibt also eine weite Bandbreite an Verbesserungsmöglichkeiten und Ansätzen zur Weiterentwicklung von SVGPlott. Abschließend lässt sich sagen, dass SVGPlott eine Grundlage für die weitere Forschung zu taktilen Diagrammen ist und zudem durch einige Anpassungen eine Veröffentlichung als freie Software möglich ist. Dies könnte taktile Diagramme weiter verbreiten und blinden bzw. sehbehinderten Menschen neue Berufsmöglichkeiten eröffnen, da die Nutzung taktiler Diagramme die Grundlage einer besseren Kommunikation über Daten und deren Zusammenhänge sind. Auch die Bereitstellung von Lehrmaterialien könnte so vereinfacht werden, was wiederum die allgemeinen Kenntnisse blinder Menschen im Umgang mit taktilen Diagrammen langfristig verbessern und Wege zu neuen Darstellungen eröffnen würde. Letztendlich trägt all dies dazu bei, den Blickpunkt zu ändern, gemäß dem blinde Menschen gerade in älteren Arbeiten nur als Empfänger von Informationen gesehen werden, ihr Bedürfnis, Inhalte selbst anschaulich zu kommunizieren, jedoch vernachlässigt wird.

Anhang A

Fragebogen zur Nutzerstudie

Auf den nachfolgenden Seiten steht der in der Nutzerstudie in Kapitel 5 verwendete Fragebogen. Die Bezeichner vor den Fragen wie “B_allg” dienen der Referenz zu den Diagrammen, die in Anhang B abgebildet sind.

Nutzerstudie zu taktilen Diagrammen

Im Rahmen der Masterarbeit
“Erzeugung von zugänglichen audio-taktilen Diagrammen”

Michael Jobst

1 Demografische Daten

1.1 Wie alt sind Sie?

1.2 Welchem Geschlecht ordnen Sie sich zu?

1.3 Welche berufliche Tätigkeit üben Sie derzeit hauptsächlich aus (Tätigkeitsfeld beziehungsweise Branche genügt)?

1.4 In welchem Kontext haben Sie mit Diagrammen zu tun?

☐ beruflich

☐ privat

1.5 Beschreiben Sie, in welchen Situationen/für welche Tätigkeiten Sie Diagramme nutzen.

2 Persönliche Fähigkeiten

2.1 Welcher Grad der Sehfähigkeit liegt bei Ihnen vor?

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ☐ blind
- ☐ hochgradig sehbehindert
- ☐ sehbehindert
- ☐ normalsichtig

2.2 In welchem Alter ist die Sehbehinderung/Blindheit, die momentan bei Ihnen vorliegt, eingetreten?

2.3 Wie schätzen Sie sich selbst in Bezug auf Ihre Brailleschrift-Kenntnisse ein?

Bitte wählen Sie nur eine der folgenden Antworten aus:

- ☐ Ich besitze keine Brailleschrift-Kenntnisse.
- ☐ Ich bin ein Brailleschrift-Anfänger.
- ☐ Ich bin ein durchschnittlicher Anwender der Brailleschrift.
- ☐ Ich bin ein guter Anwender der Brailleschrift.

2.4 Haben Sie weitere Einschränkungen in Ihrer Wahrnehmungsfähigkeit?

Bitte wählen Sie alle zutreffenden Antworten aus:

- ☐ keine weiteren Einschränkungen
- ☐ Einschränkungen in der Hörfähigkeit
- ☐ Einschränkungen in der Motorik
- ☐ Einschränkungen in der Tastfähigkeit
- ☐ andere Einschränkungen

3 Diagramme

3.1 Verwenden Sie oder haben Sie bereits taktile Diagramme verwendet?

- ☐ ja
- ☐ nein

3.2 Verwenden Sie oder haben Sie bereits audio-taktile Diagramme verwendet?

- ☐ ja
- ☐ nein

3.3 Erzeugen Sie oder haben Sie bereits taktile/visuelle Diagramme erzeugt? Wenn ja, mit welchen Verfahren?

- ☐ ja
 - ☐ nein
-
-
-

3.4 Welche der folgenden Diagrammtypen sind Ihnen bekannt?

Bitte wählen Sie alle zutreffenden Antworten aus:

- ☐ Balkendiagramme mit vertikal verlaufenden Balken (Säulendiagramme)
- ☐ Balkendiagramme mit horizontal verlaufenden Balken
- ☐ gestapelte Balkendiagramme (Zusammenfassung von Teilwerten eines Kriteriums zu einem Balken/einer Säule)
- ☐ gruppierte Balkendiagramme (Teilwerte eines Kriteriums stehen nebeneinander)
- ☐ Liniendiagramme mit einer Linie
- ☐ Liniendiagramme mit mehreren Linien
- ☐ Punktdiagramme (regelmäßige Intervalle einer der beiden Variable, z.B. Zeitreihen)
- ☐ Streudiagramme (zwei Zufallsvariablen)
- ☐ Punktdiagramme mit Trendlinie

4 Balkendiagramme

4.1 [B_allg] Beschreiben Sie den allgemeinen Aufbau der Diagramme mit Hilfe der Legende.

Z.B. Titel, Achsen(-bereiche), Anzahl/Darstellung der Balken, Namen der Datenreihen gruppiert:

gestapelt:

4.2 [B_niedrig] Welche Datenreihen dieses Diagramms haben in welchen Kategorien *nicht* den Wert 0? Nennen Sie jeweils ihre Namen.

Kategorie t:

☐ a

☐ b

☐ c

Kategorie w:

☐ a

☐ b

☐ c

Kategorie z:

☐ a

☐ b

☐ c

Kategorie u:

☐ a

☐ b

☐ c

Kategorie x:

☐ a

☐ b

☐ c

Kategorie v:

☐ a

☐ b

☐ c

Kategorie y:

☐ a

☐ b

☐ c

4.3 [B_schmal] Welche Datenreihen dieses Diagramms haben in welchen Kategorien *nicht* den Wert 0? Nennen Sie jeweils ihre Namen.

Kategorie v:

☐ a

☐ b

☐ c

Kategorie w:

☐ a

☐ b

☐ c

Kategorie x:

☐ a

☐ b

☐ c

Kategorie y:

☐ a

☐ b

☐ c

Kategorie z:

☐ a

☐ b

☐ c

4.4 Bewerten Sie mit Schulnoten von 1-6 die folgenden Aspekte:

4.4.1 Erkennbarkeit/Unterscheidbarkeit der dargestellten Balkentexturen

Textur a

Textur b

Textur c

4.4.2 Nutzen der gepunkteten horizontalen Hilfslinien zum Ablesen der Werte

4.5 Wie lässt sich Ihrer Meinung nach die Lesbarkeit der Diagramme verbessern?

5 Liniendiagramme

5.1 [L_allg] Beschreiben Sie den Verlauf der Linien.

5.1.1 (Erstes Diagramm) Wie viele Linien werden dargestellt?

5.1.2 Welche Linien steigen/fallen/sind konstant? An welchen Koordinaten liegen Schnittpunkte?

Linie a:

Linie b:

Linie c:

5.1.3 Wie gut lassen sich die Linien (jeweils in Schulnoten von 1-6 bewertet) verfolgen? Lässt sich eine der Linien schlechter verfolgen als die anderen? Wenn ja, warum?

Linie a:

Linie b:

Linie c:

5.1.4 (Zweites Diagramm) Welche Linien steigen/fallen/sind konstant? An welchen Koordinaten liegen Schnittpunkte?

Linie a:

Linie b:

Linie c:

5.1.5 Wie gut lassen sich die Linien (jeweils in Schulnoten von 1-6 bewertet) verfolgen? Lässt sich eine der Linien schlechter verfolgen als die anderen? Wenn ja, warum?

Linie a:

Linie b:

Linie c:

5.1.6 In beiden Diagrammen liegen die horizontalen Werte im Intervall von 1 bis 10. Verfolgen Sie die genannten Linien und lesen sie von links nach rechts die Werte einiger für Sie markant wirkender Datenpunkte ab.

Diagramm 1, Linie c:

Diagramm 2, Linie b:

5.2 Bewerten Sie mit Schulnoten von 1-6 folgende Aspekte:

5.2.1 Nutzen der gepunkteten horizontalen Hilfslinien zum Ablesen der Werte

5.2.2 Unterscheidbarkeit der Linien von den horizontalen Hilfslinien

Linie a

Linie b

Linie c

5.3 Nutzen der eingezeichneten Datenpunkte

5.4 Wie lässt sich Ihrer Meinung nach die Lesbarkeit des Diagramms verbessern?

6 Punktdiagramme

6.1 [P_streu] Streudiagramm

6.1.1 Wie viele verschiedene Punktsymbole werden dargestellt?

6.2 [P_symb] Nennen Sie zu jedem der Punktsymbole anhand der Legende, zu welcher Datenreihe es gehört.

Lesen Sie die Symbole zeilenweise von links oben.

Reihe 1

Reihe 2

Reihe 3

Reihe 4

6.3 [P_streu] Streudiagramm

6.3.1 Finden Sie Stellen, an denen sich Punktsymbole überlagern. Versuchen Sie, die Symbole zu identifizieren.

6.3.2 Charakterisieren Sie Form der Cluster, die von den drei Datenreihen gebildet werden (rund, länglich von links nach rechts, ...). Alternativ: Nennen Sie zu jeder Datenreihe die Koordinaten des Punktes, der am weitesten links/rechts/oben/unten ist.

Reihe a

Reihe b

Reihe c

6.4 Bewerten Sie mit Schulnoten von 1-6 folgende Aspekte:

6.4.1 Erkennbarkeit/Unterscheidbarkeit der dargestellten Punktsymbole

Symbol a

Symbol b

Symbol c

6.4.2 Ablesbarkeit der Koordinaten ohne Gitter

6.5 Wie lässt sich Ihrer Meinung nach die Lesbarkeit des Diagramms verbessern?

7 Punktdiagramme mit Trendlinien

7.1 [PT_Eis] Trendlinien für Daten mit geringer Varianz

7.1.1 Gezeigt werden die Datenpunkte. Welche der beiden Geschäftsstätten ist zu welcher Jahreszeit beliebter? Welche Geschäftsstätte verkauft insgesamt mehr Eis?

Innenstadt

Sportareal

7.1.2 In welchen der Monaten wurde unabhängig von den saisonalen Schwankungen außergewöhnlich viel/wenig Eis verkauft?

Innenstadt

Sportareal

7.1.3 Gezeigt werden nun zusätzlich zu den Punkten aus den Daten berechnete Trendlinien. Welche der beiden Geschäftsstätten ist zu welcher Jahreszeit beliebter?

Innenstadt

Sportareal

7.1.4 Welche der Punkte weichen besonders von der Trendlinie ab?

Innenstadt

Sportareal

7.2 Bewerten Sie folgende Aspekte in Schulnoten von 1-6.

7.2.1 Wie gut sind die Punkte, die direkt auf den Trendlinien liegen erkennbar?

7.2.2 Bewerten Sie jede der drei Darstellungen nach folgenden Kriterien:

1. Erkennbarkeit des Trends
2. Vergleichbarkeit der beiden Trends
3. Erkennbarkeit von Punkten, die vom Trend abweichen (nur für die Darstellungen mit Punkten)

Punkte

| | | |
|-----|-----|-----|
| (1) | (2) | (3) |
|-----|-----|-----|

Punkte + Trendlinien

| | | |
|-----|-----|-----|
| (1) | (2) | (3) |
|-----|-----|-----|

7.3 Wie lässt sich Ihrer Meinung nach die Lesbarkeit des Diagramms verbessern?

7.4 [PT_Parabel] Trendlinie für Daten mit größerer Varianz

7.4.1 Gezeigt werden nur die Datenpunkte. Welchen Verlauf hat der Trend?

7.4.2 Nennen Sie Punkte, die Ihrer Meinung nach vom Trend abweichen.

7.4.3 Zusätzlich zu den Daten wird nun eine Trendlinie dargestellt. Welchen Verlauf hat diese? Entspricht diese Ihren Erwartungen? Wenn nein, wo gibt es Abweichungen?

7.4.4 Nennen Sie Punkte, die besonders von der Trendlinie abweichen. Fallen Ihnen im Vergleich zu Ihrer vorherigen Einschätzung Unterschiede auf?

8 Allgemeine Einschätzung zu Trendlinien in taktilen Diagrammen

8.1 Vereinfachen oder erschweren Trendlinien die Verständlichkeit der Darstellung? Wieso?

8.2 Unter welchen Umständen halten Sie eine Trendlinie für hilfreich?

8.3 Unter welchen Umständen sollten die originalen Datenpunkte weggelassen werden?

9 Abschlussbewertung

9.1 Bewerten Sie mit Schulnoten von 1-6, wie sie die Lesbarkeit der gezeigten Diagrammtypen einschätzen, wie nützlich Sie sie zur Datenanalyse empfinden und wie gerne Sie diese in Zukunft nutzen möchten.

| Diagrammtyp | Lesbarkeit | Analyse | Eig. Verwendung |
|--------------------------------|------------|---------|-----------------|
| Balkendiagramm gruppiert | | | |
| Balkendiagramm gestapelt | | | |
| Liniendiagramm | | | |
| Streudiagramm | | | |
| Punktdiagramm (feste Frequenz) | | | |
| Punktdiagramm mit Trendlinien | | | |

9.2 Würden Sie, wenn sie selbst taktile Diagramme erstellen möchten, lieber eine Kommandozeilenanwendung oder eine zugängliche grafische Oberfläche verwenden?

9.3 Finden Sie die Reihenfolge in der Texturen/Punktsymbole den Datenreihen zugeordnet werden angemessen/intuitiv verständlich/sinnvoll? Wieso?

10 Anregungen und Wünsche

Anhang B

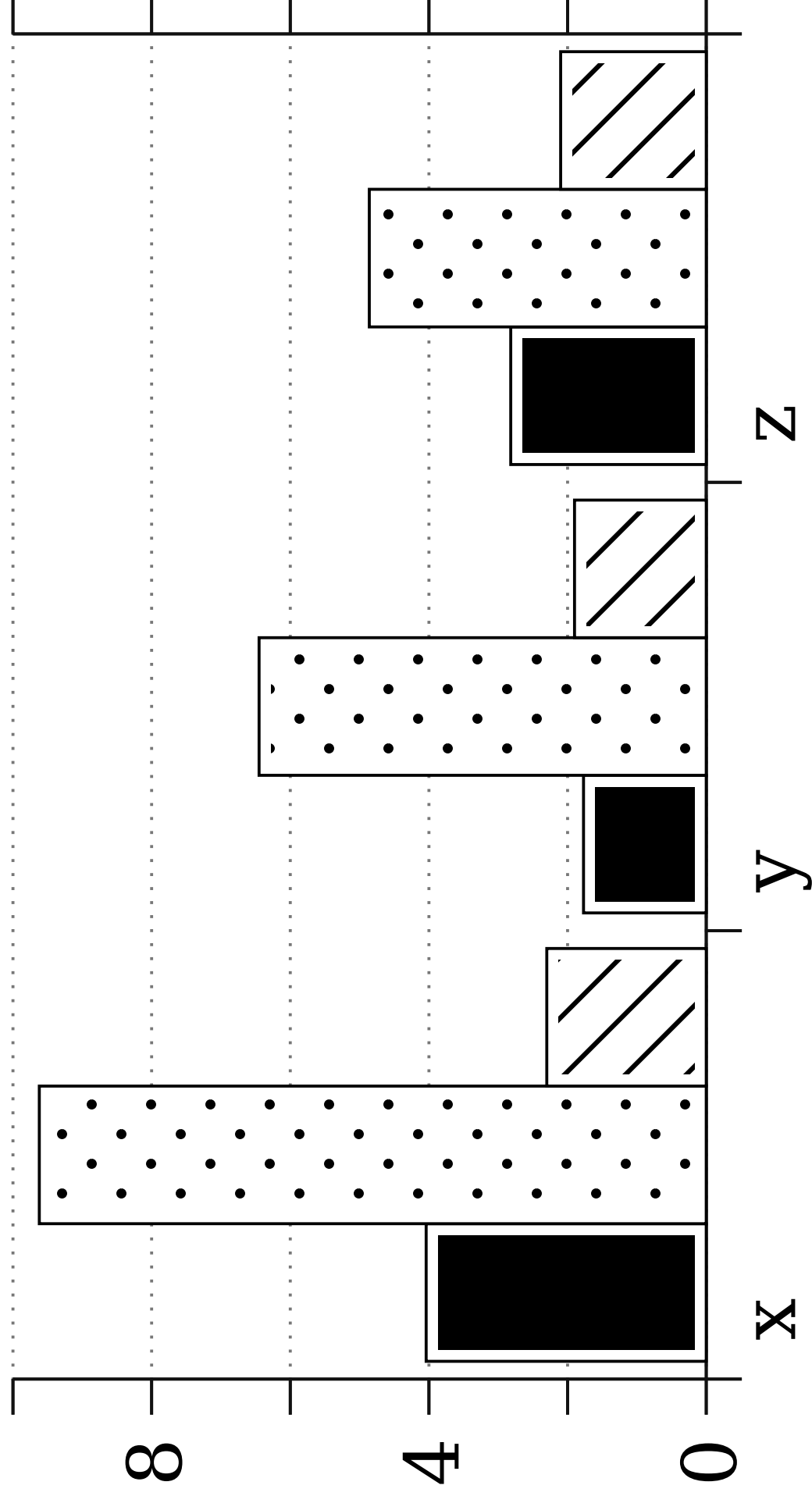
Diagramme zur Nutzerstudie

Inhaltsverzeichnis

| | |
|----------------|-----|
| B_allg (1) | 118 |
| B_allg (2) | 119 |
| B_niedrig | 120 |
| B_schmal | 121 |
| L_allg (1) | 122 |
| L_allg (2) | 123 |
| P_streu | 124 |
| P_symb | 125 |
| PT_Eis (1) | 126 |
| PT_Eis (2) | 127 |
| PT_Parabel (1) | 128 |
| PT_Parabel (2) | 129 |

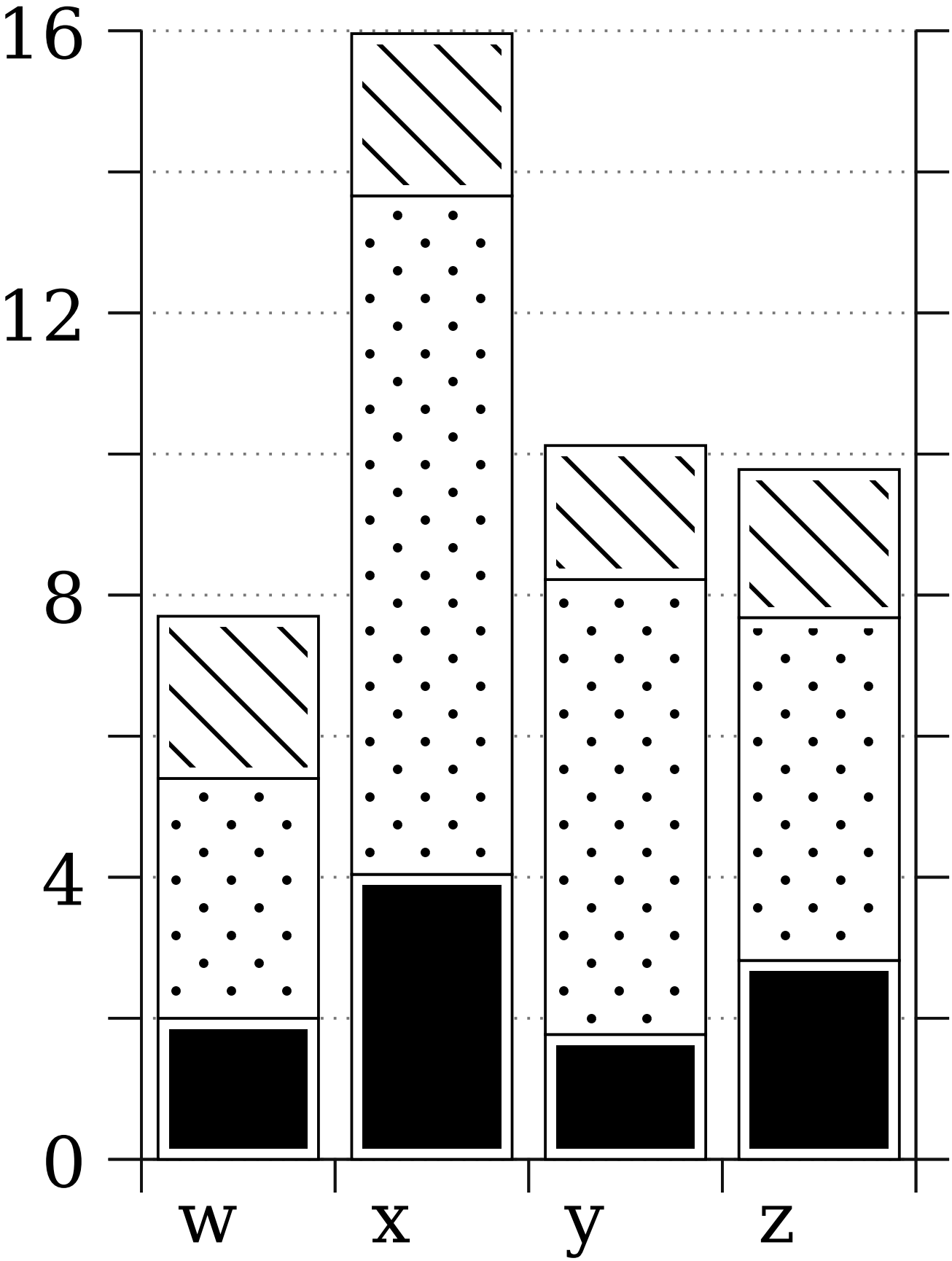
Gruppiertes Balkendiagramm

Höhe



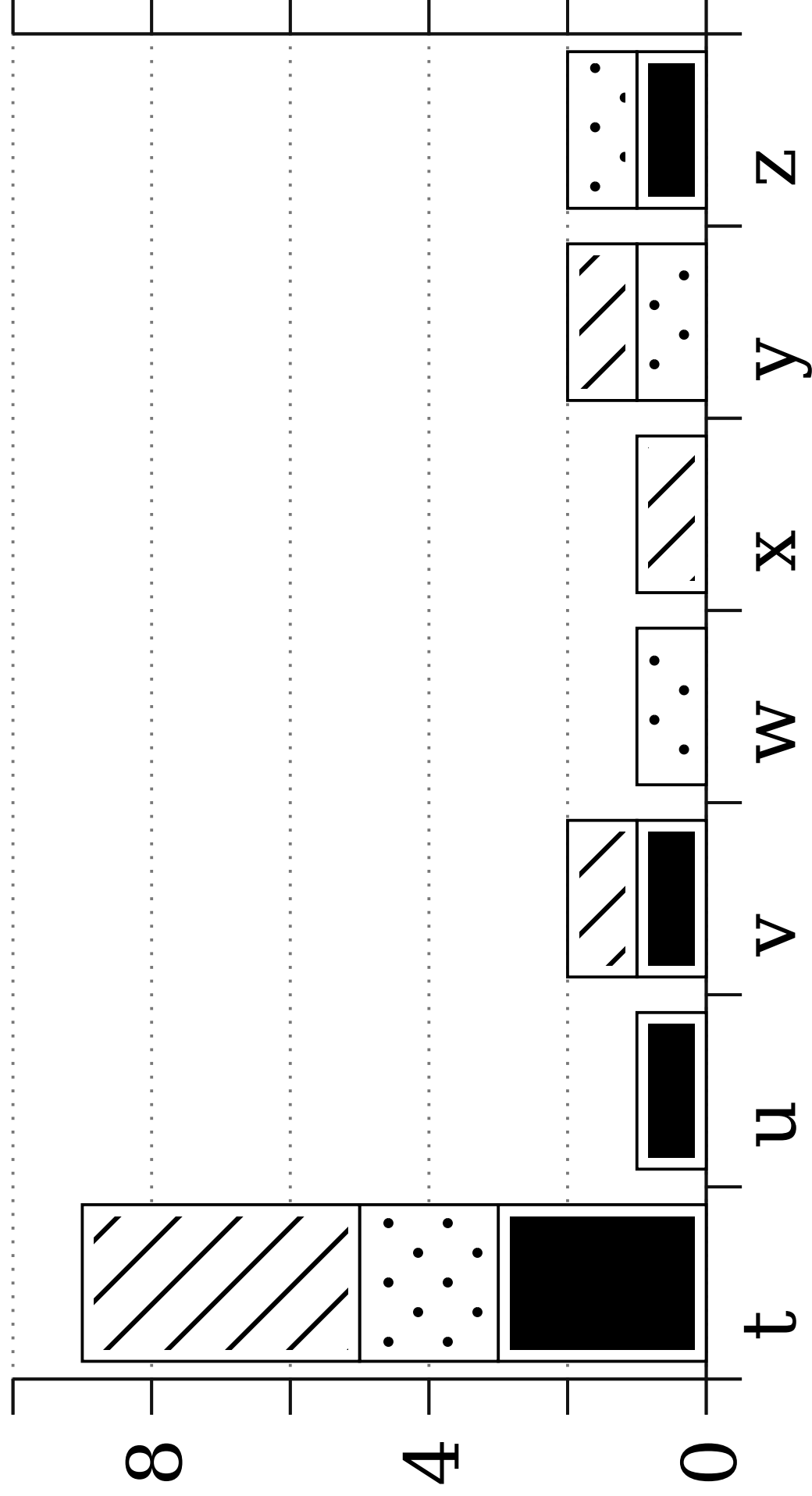
Gestapeltes Balkendiagramm

Höhe



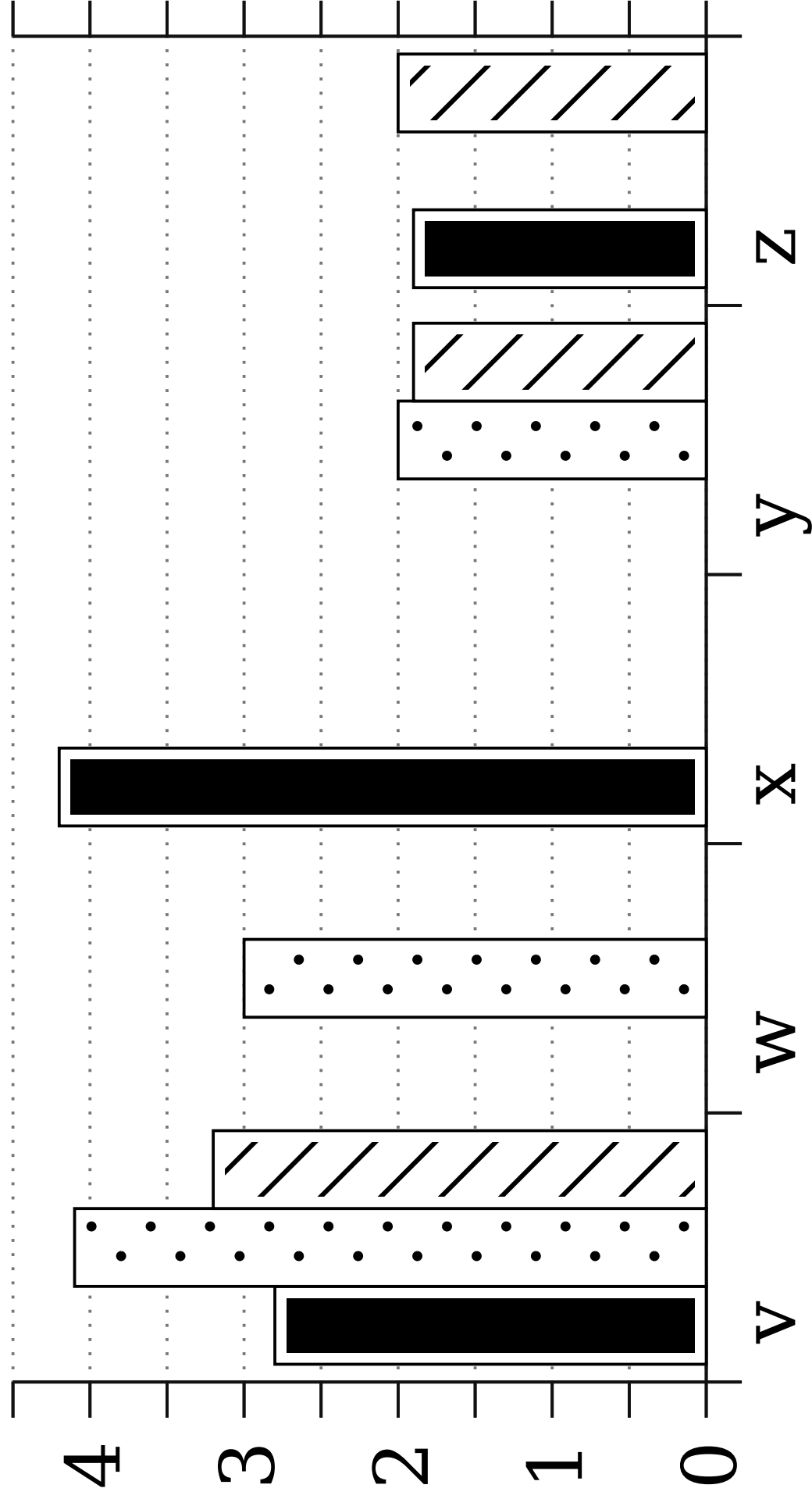
Gestapeltes Balkendiagramm

Höhe

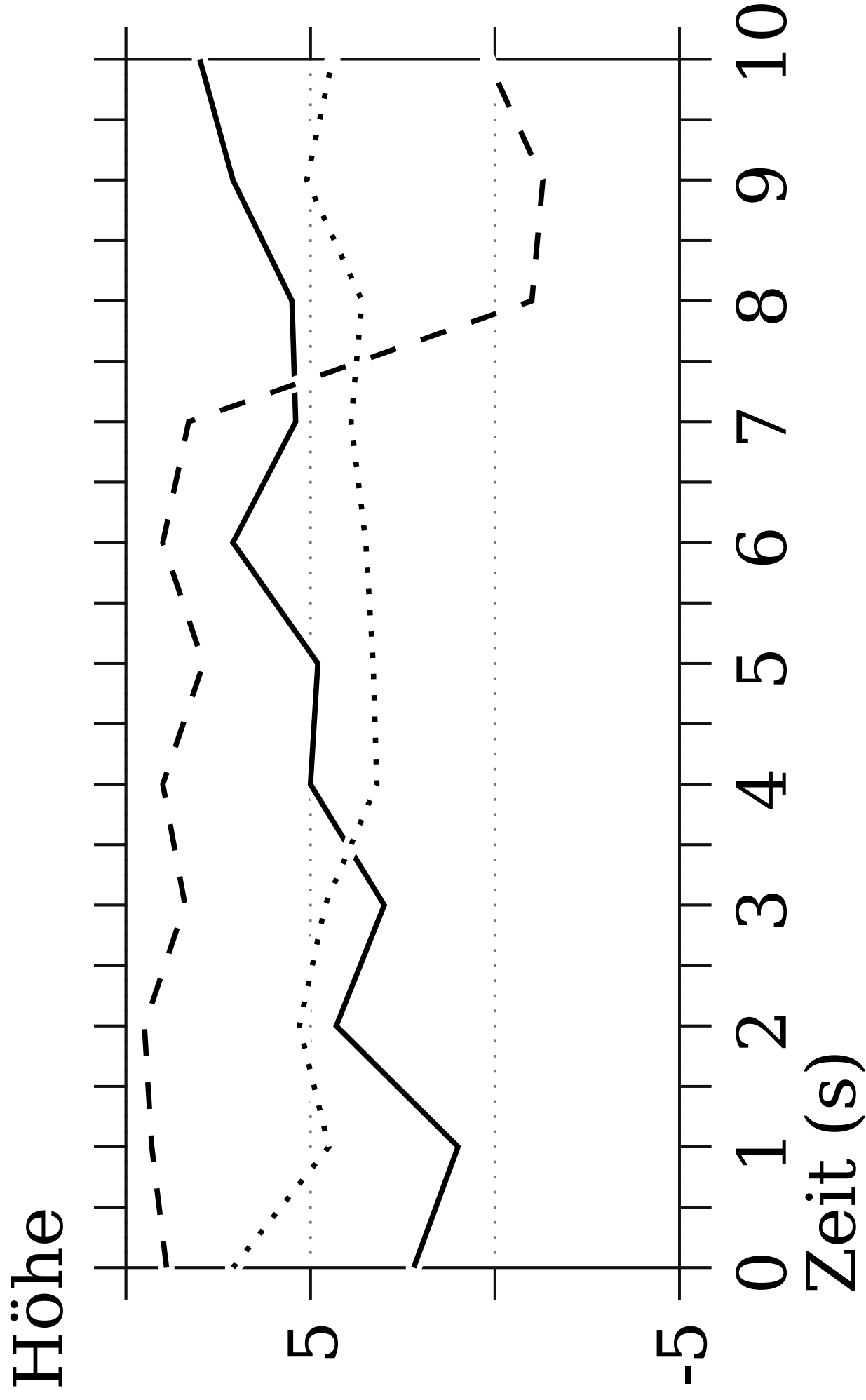


Gruppiertes Balkendiagramm

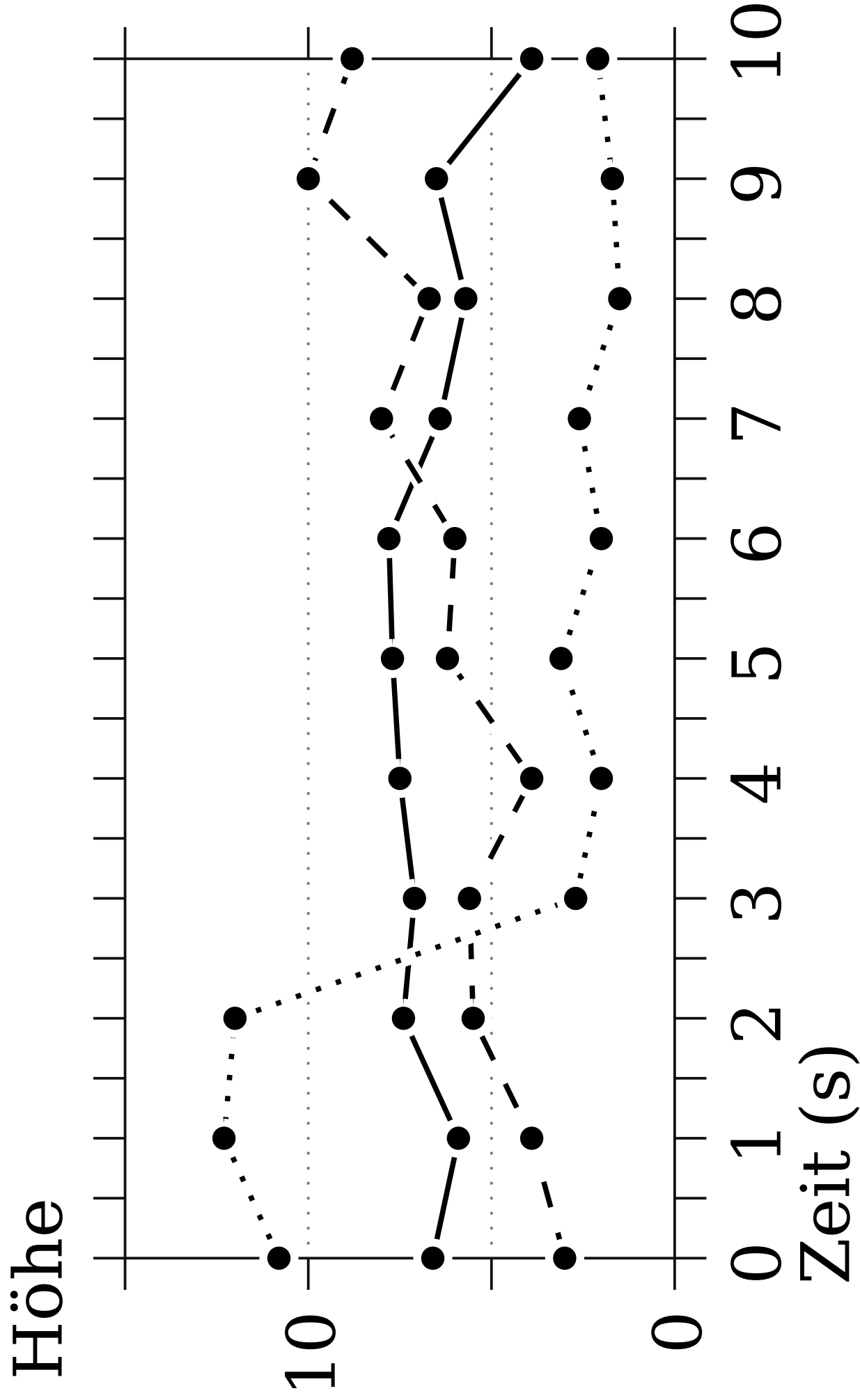
Höhe



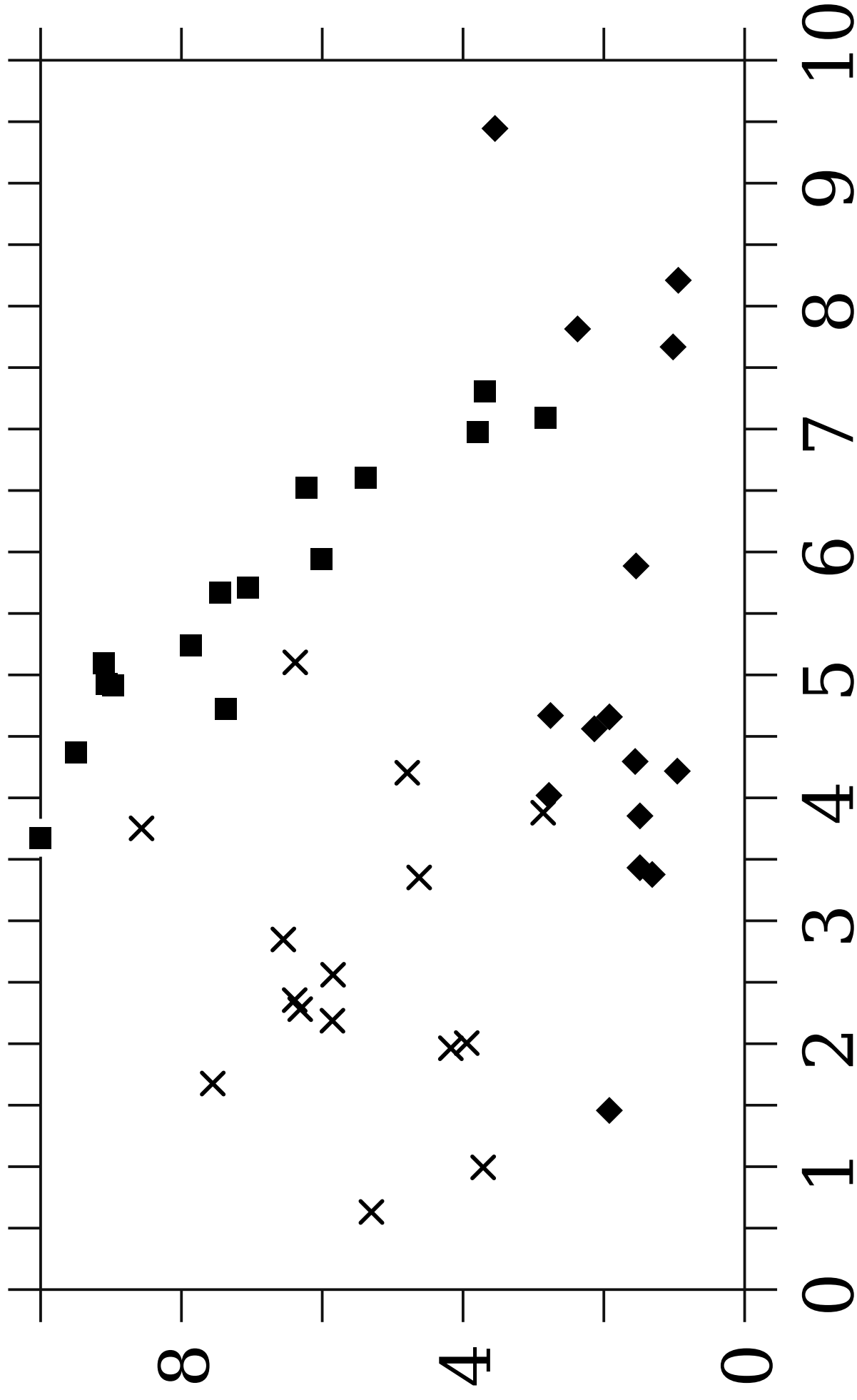
Linendiagramm



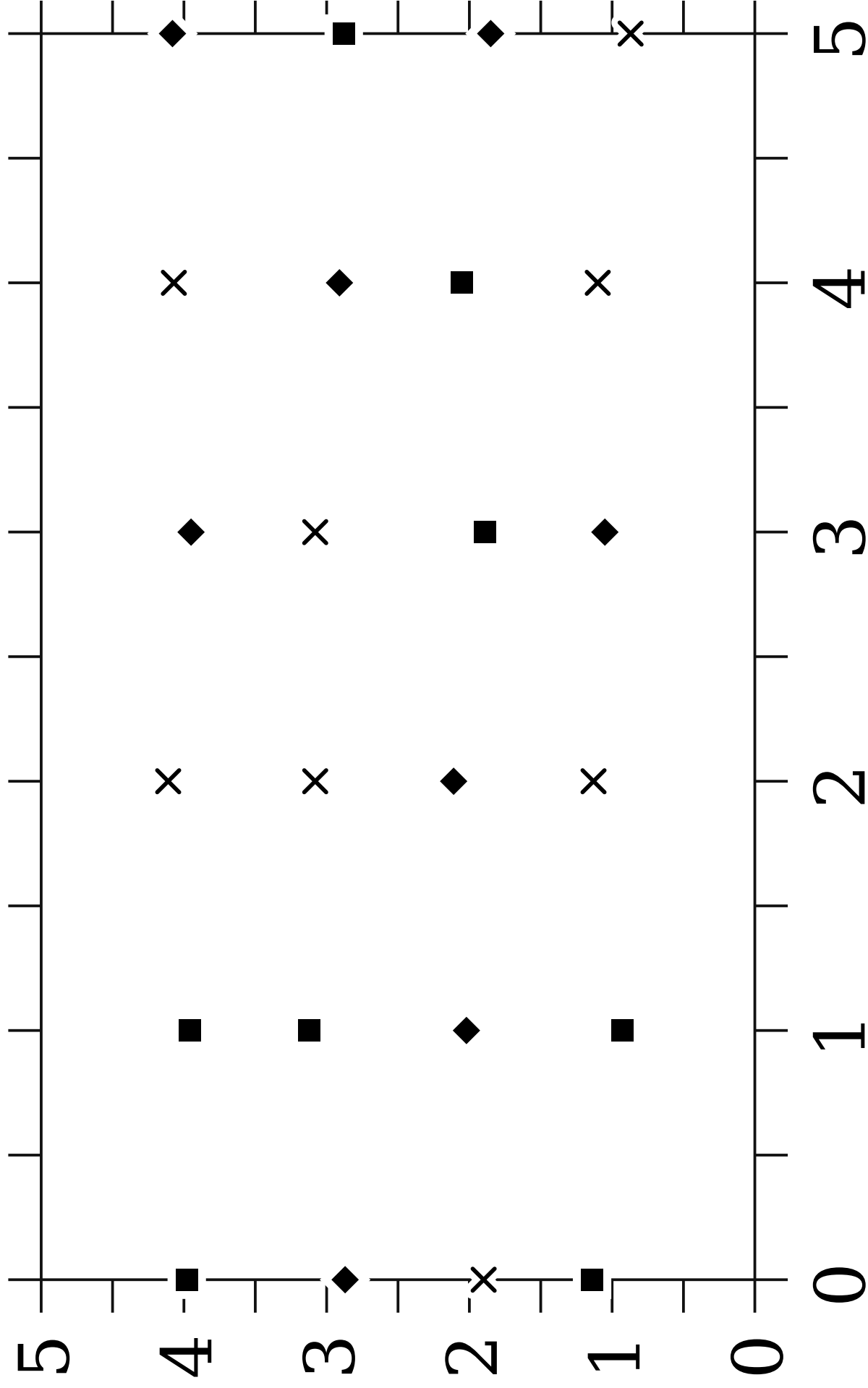
Liniendiagramm



Punktdiagramm

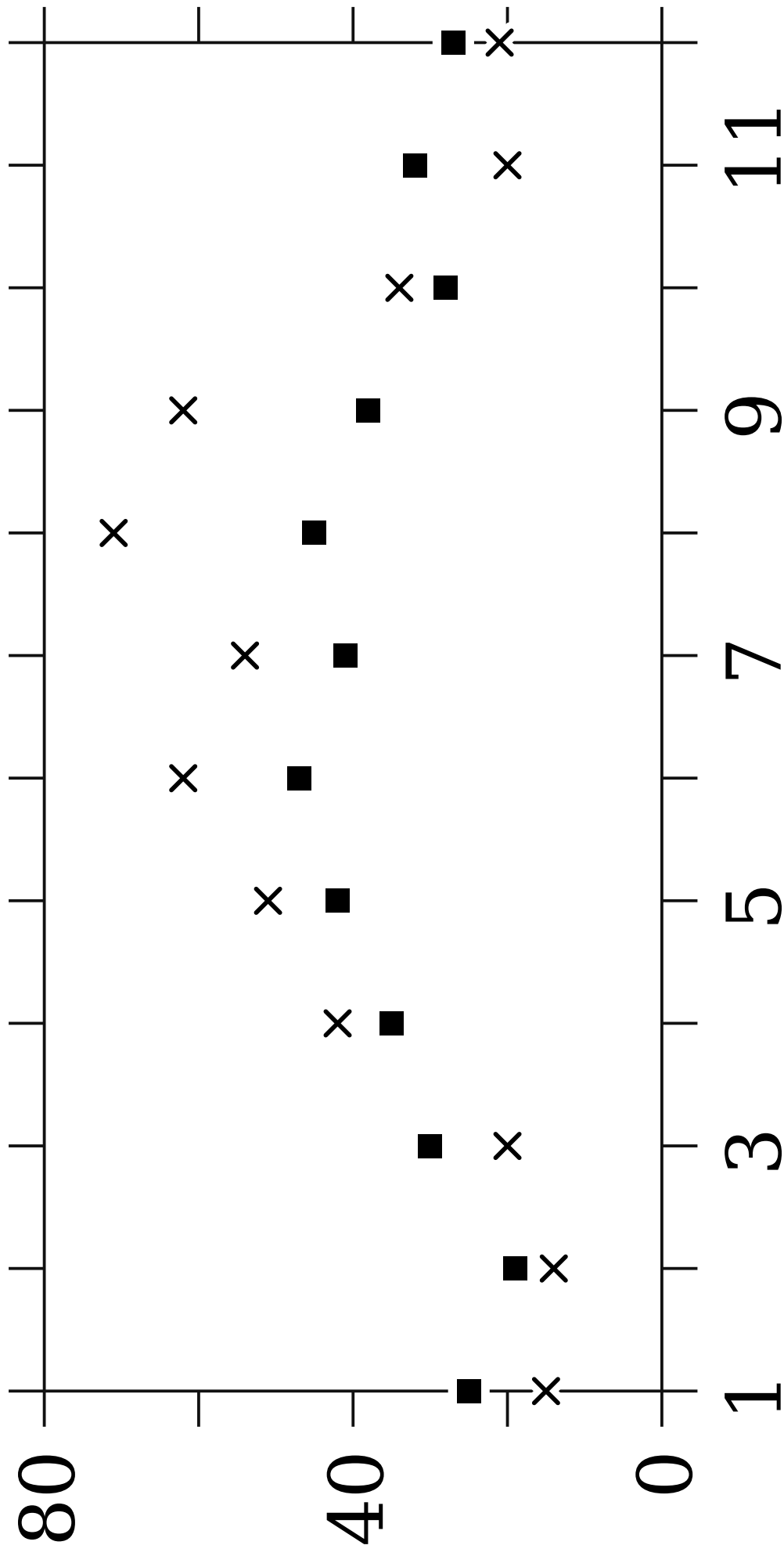


Punktdiagramm



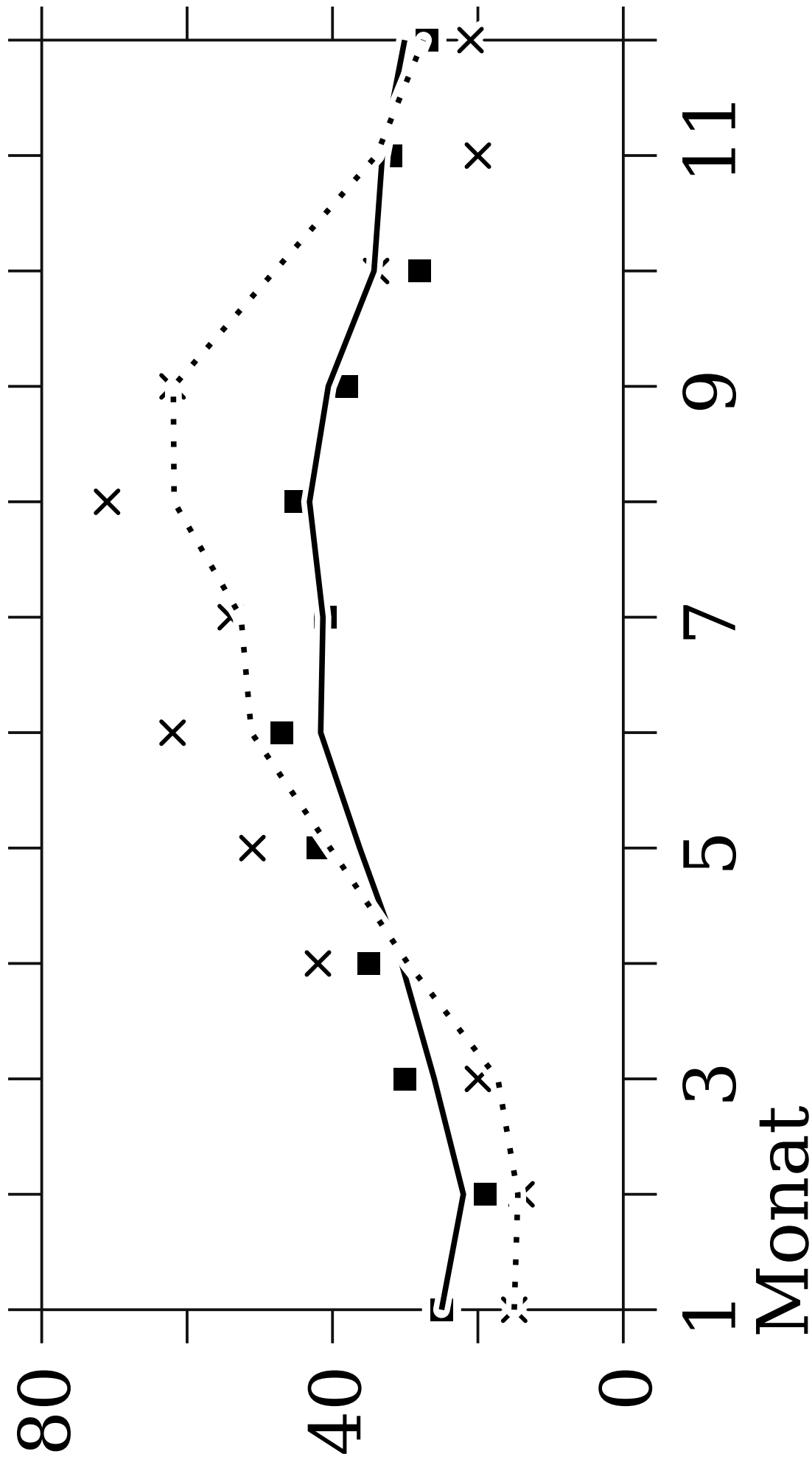
Verkaufte Eiskugeln

Kugeln (in 10)

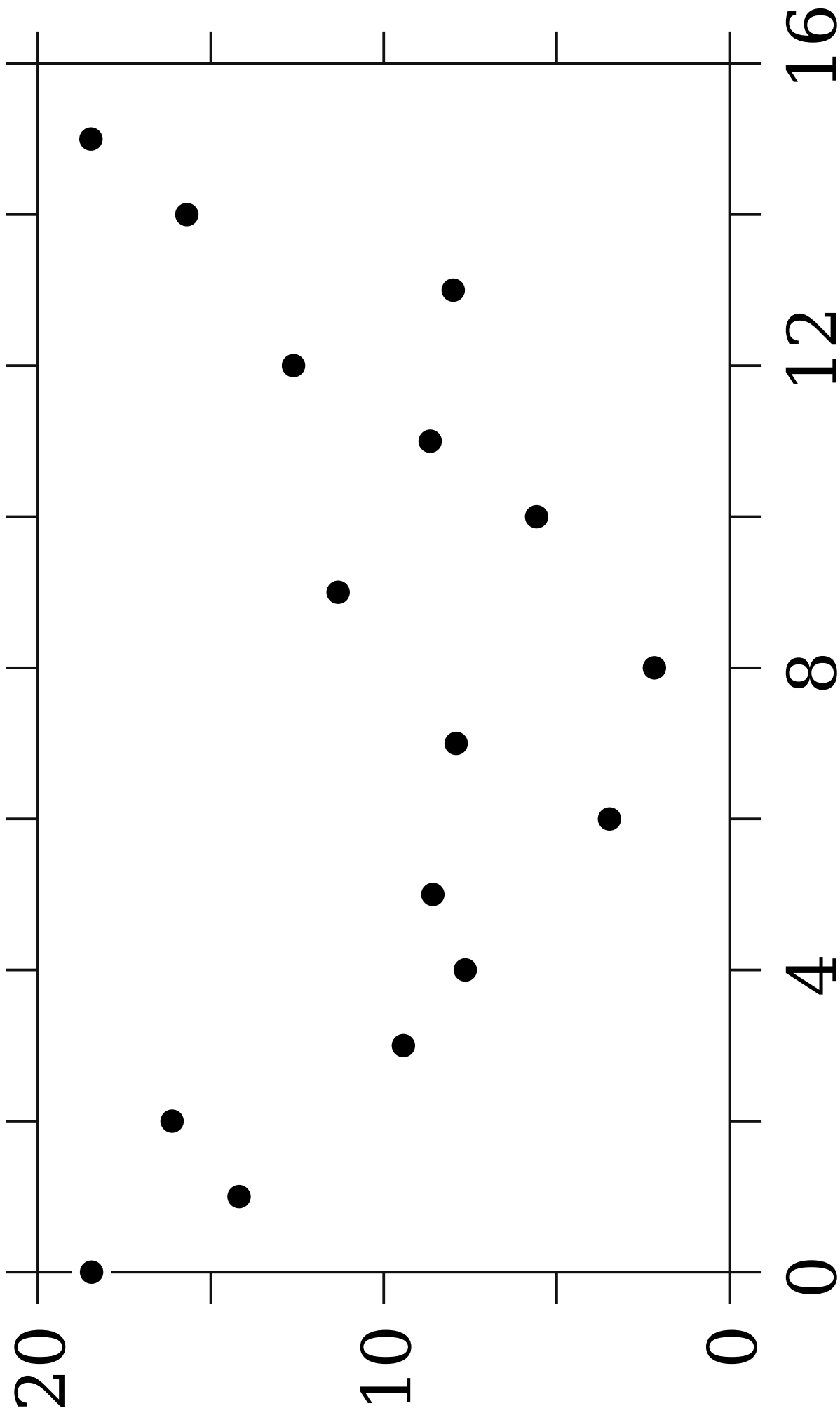


Verkaufte Eiskugeln

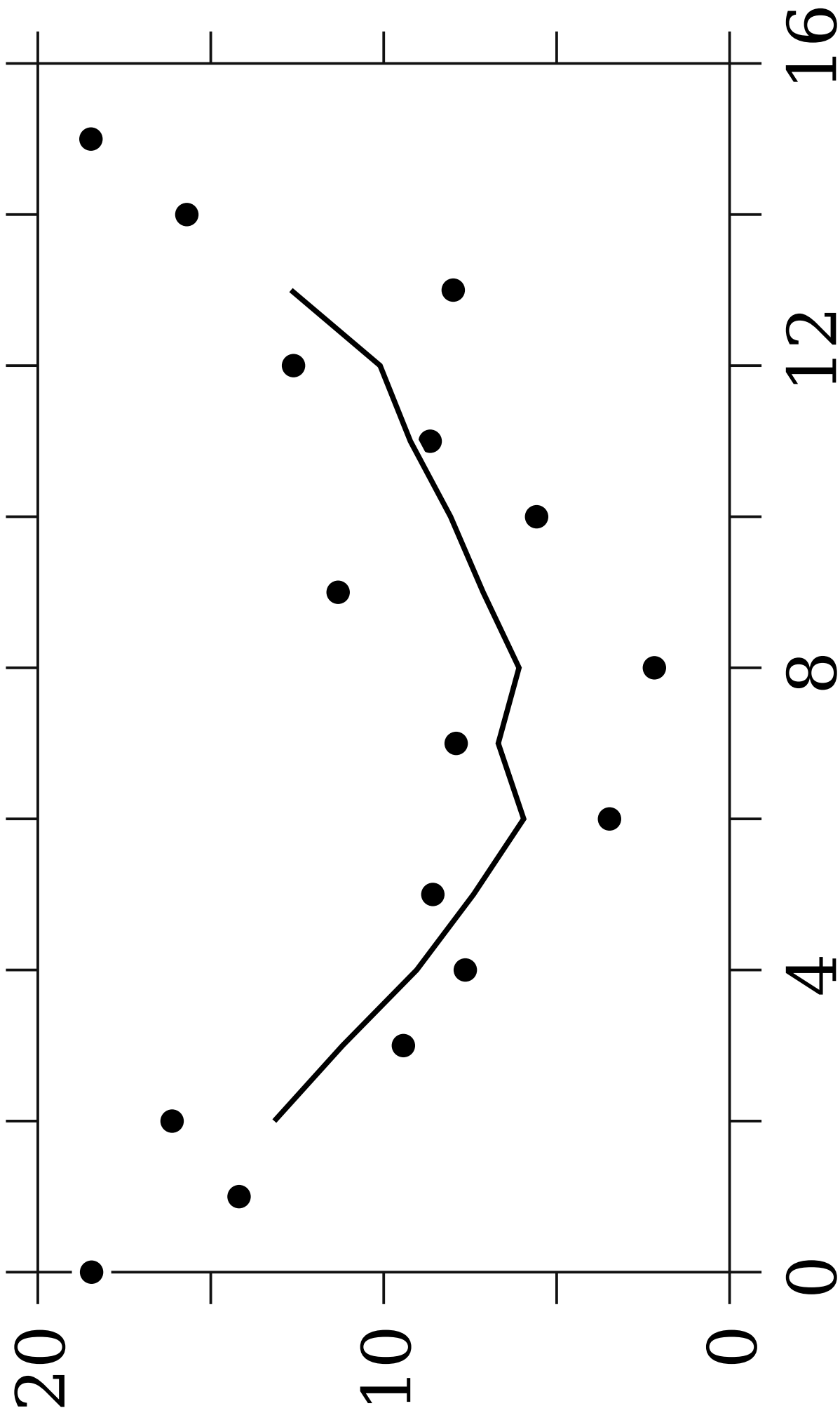
Kugeln (in 10)



Trendlinie



Trendlinie



Literatur

- [AP87] Francis K. Aldrich und Alan J. Parkin. „Tangible line graphs: an experimental investigation of three formats using capsule paper“. In: *Human factors* 29.3 (1987), S. 301–309. ISSN: 0018-7208.
- [Ben82] Billie L Bentzen. „Tangible graphic displays in the education of the blind persons“. In: *Tactual perception: a sourcebook*. Cambridge Univ Pr, 1982, S. 387–404.
- [Ber82] Edward P Berla. „Haptic perception of tangible graphic displays“. In: *Tactual perception: a sourcebook* (1982), S. 364–386.
- [BG98] V. L. Bulatov und J. Gardner. „Visualisation by People without Vision“. In: (1998), S. 103–108.
- [BK99] Brent Berlin und Paul Kay. *Basic color terms: their universality and evolution*. Stanford, Calif.: CSLI, 1999. ISBN: 9781575861623.
- [Bla+89] Meera M. Blattner, Denise A. Sumikawa und Robert M. Greenberg. „Earcons and Icons: Their Structure and Common Design Principles“. In: *Human-Computer Interaction* 4.1 (1989), S. 11–44. ISSN: 0737-0024.
- [BO90] Robert M. Boynton und Conrad X. Olson. „Salience of chromatic basic color terms confirmed by three measures“. In: *Vision Research* 30.9 (1990), S. 1311–1317. ISSN: 00426989.
- [Bor+14] Jens Bornschein, Denise Prescher und Gerhard Weber. „SVGPlott – Generating Adaptive and Accessible Audio-Tactile Function Graphs“. In: *International Conference on Computers for Handicapped Persons*. Bd. 8547 LNCS. PART 1. Springer. 2014, S. 588–595. ISBN: 9783319085951.
- [Bor+15] Jens Bornschein, Denise Prescher und Gerhard Weber. „Inclusive Production of Tactile Graphics“. In: *Human-Computer Interaction – INTERACT 2015: 15th IFIP TC 13 International Conference, Bamberg, Germany, September 14-18, 2015, Proceedings, Part I*. Hrsg. von Julio Abascal, Simone Barbosa, Mirko Fetter et al. Cham: Springer International Publishing, 2015, S. 80–88. ISBN: 978-3-319-22701-6.

- [Dem+07] Seniz Demir, Sandra Carberry und Kathleen F McCoy. „Generating Textual Summaries of Bar Charts“. In: *Fifth International Natural Language Generation Conference* (2007), S. 7–15.
- [Der+04] Gunilla Derefeldt, Tiina Swartling, Ulf Berggrund und Peter Bodrogi. „Cognitive Color“. In: *Color Research and Application* 29.1 (2004), S. 7–19. ISSN: 03612317.
- [Edm92] Polly Edman. *Tactile graphics*. American Foundation for the Blind, 1992.
- [Eis02] J. David Eisenberg. *SVG Essentials*. First Edit. February. O’Reilly, 2002, S. 1–364. ISBN: 0-596-00223-8.
- [EW17] Christin Engel und Gerhard Weber. „Analysis of Tactile Chart Design“. unveröffentlicht. 2017.
- [FR03] Keith M. Franklin und Jonathan C. Roberts. „Pie chart sonification“. In: *Proceedings of the International Conference on Information Visualisation* 2003-Janua (2003), S. 4–9. ISSN: 10939547.
- [Gar+06] John A Gardner, Vladimir Bulatov und Viewplus Technologies. „Scientific Diagrams Made Easy with IVEO™“. In: (2006), S. 1243–1250.
- [Gar02] John A Gardner. „Access by Blind Students and Professionals to Mainstream Math and Science“. In: *International Conference on Computers for Handicapped Persons*. 2002, S. 502–507.
- [GM08] Cagatay Goncu und Kim Marriott. „Tactile chart generation tool“. In: *Proceedings of the 10th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility - Assets ’08* (2008), S. 255.
- [Gon+10a] Cagatay Goncu, Kim Marriott und Frances Aldrich. „Tactile Diagrams: Worth Ten Thousand Words?“ In: *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*. Bd. 6170 LNAI. 2010, S. 257–263. ISBN: 364214599X.
- [Gon+10b] Cagatay Goncu, Kim Marriott und John Hurst. „Usability of accessible bar charts“. In: *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)* 6170 LNAI (2010), S. 167–181. ISSN: 03029743.
- [Har14] Gregor Harlan. „SVG-Graphenzeichner für taktile Funktionsgraphen“. Großer Beleg. Dresden University of Technology, 2014.
- [HG13] Morton A. Heller und Edouard Gentaz. „Psychology of Touch and Blindness“. In: *Psychology of Touch and Blindness* (2013), S. 1–280.

- [Jac98] R.D. Jacobson. „Navigating maps with little or no sight: An audio-tactile approach“. In: *Proceedings of Content Visualization and Intermedia Representations* (1998), S. 95–102.
- [Jay+07] Chandrika Jayant, Matt Renzelmann, Dana Wen et al. „Automated tactile graphics translation“. In: *Proceedings of the 9th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility - Assets '07* (2007), S. 75.
- [JP81] Kenneth O. Johnson und John R. Phillips. „Tactile spatial resolution. I. two-point discrimination, gap detection, grating resolution, and letter recognition“. In: *Journal of Neurophysiology* 46.6 (1981), S. 1177–1192. ISSN: 0022-3077.
- [KB05] Stephen E. Krufka und Kenneth E. Barner. „Automatic Production of Tactile Graphics from Scalable Vector Graphics“. In: *Proceedings of the 7th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility - Assets '05* (2005), S. 166.
- [Kra+10] Gregory Kramer, Bruce Walker, Terri Bonebright, Perry Cook und John H. Flowers. „Sonification Report: Status of the Field and Research Agenda“. In: *Faculty Publications, Department of Psychology. Paper 444* (2010).
- [Lad+05] Richard E. Ladner, Melody Y. Ivory, Rajesh Rao et al. „Automating tactile graphics translation“. In: *Proceedings of the 7th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility - Assets '05* (2005), S. 150.
- [LG01] Steven Landau und Karen Gourgey. „Development of a talking tactile tablet“. In: *Information Technology and Disabilities* 7.2 (2001).
- [Mor+15] Valerie S Morash, Yue-Ting Siu, Joshua A Miele, Lucia Hasty und Steven Landau. „Guiding Novice Web Workers in Making Image Descriptions Using Templates“. In: *ACM Trans. Access. Comput.* 7.4 (2015), 12:1–12:21. ISSN: 1936-7228.
- [NIS] „Introduction to Time Series Analysis“. In: *e-Handbook of Statistical Methods*. Hrsg. von NIST/SEMATECH. Kap. 6.4. URL: <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pmc/section4/pmc4.htm>.
- [Par88] Don Parkes. *NOMAD”: An audio-tactile tool for the acquisition, use and management of spatially distributed information by partially sighted and blind persons*. 1988.
- [PB16] Denise Prescher und Jens Bornschein. „Richtlinien zur Umsetzung taktiler Grafiken - Richtlinien für Bildbeschreibungen und zur Erstellung taktiler Grafiken“. In: (2016).

- [Pre+10] Denise Prescher, Oliver Nadig und Gerhard Weber. „Reading Braille and tactile ink-print on a planar tactile display“. In: *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)* 6180 LNCS.PART 2 (2010), S. 482–489. ISSN: 03029743.
- [Pre+14] Denise Prescher, Jens Bornschein und Gerhard Weber. „Production of accessible tactile graphics“. In: *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*. Bd. 8548 LNCS. PART 2. 2014, S. 26–33. ISBN: 9783319085982.
- [Ram+00] R. Ramloll, W. Yu, S. Brewster et al. „Constructing sonified haptic line graphs for the blind student: first steps“. In: *4th International ACM Conference on Assistive technologies, 13-15 November 2000 November 2000* (2000), S. 17–25.
- [Raw+98] John O. Rawlings, Sastry G. Pantula und David A. Dickey. *Applied Regression Analysis - A Research Tool*. 2nd. Springer-Verlag, 1998. ISBN: 0387984542.
- [RC02] Mary Beth Rosson und John M Carroll. „Scenario-Based Design“. In: *The Human-Computer Interaction Handbook: Fundamentals, Evolving Technologies and Emerging Applications*. Hrsg. von J Jacko und A Sears. Lawrence Erlbaum Associates, 2002. Kap. 53, S. 1032–1050. ISBN: 0471076597.
- [Sch+11] Doug Schepers, Anthony Grasso, Cameron McCormack et al. *Scalable Vector Graphics (SVG) 1.1 (Second Edition)*. W3C Recommendation. W3C, 2011.
- [Sha05] Y Shafranovich. *Common Format and MIME Type for Comma-Separated Values (CSV) Files*. RFC 4180 (Informational). RFC. Fremont, CA, USA, 2005. URL: <https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc4180.txt>.
- [Sta15] Gernot Starke. *Effektive Softwarearchitekturen: Ein praktischer Leit-faden*. Carl Hanser Verlag GmbH & Company KG, 2015. ISBN: 9783446444065.
- [Tar11] Christiane Taras. „Darstellungs - und Interaktionstechniken zur effizienten Nutzung grafischer Oberflächen durch Blinde und Sehbehinderte“. Diss. Technische Universität Dresden, 2011.

- [Völ+08] Thorsten Völkel, Gerhard Weber und Ulrich Baumann. „Tactile graphics revised: The novel BrailleDis 9000 pin-matrix device with multitouch input“. In: *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*. Bd. 5105 LNCS. 2008, S. 835–842. ISBN: 3540705392.
- [Wat+12] Tetsuya Watanabe, Toshimitsu Yamaguchi und Masaki Nakagawa. „Development of software for automatic creation of embossed graphs: Comparison of non-visual data presentation methods and development up-to-date“. In: *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*. Bd. 7382 LNCS. PART 1. 2012, S. 174–181. ISBN: 9783642315213.
- [Wat+16] Tetsuya Watanabe, Kosuke Araki, Toshimitsu Yamaguchi und Kazunori Minatani. „Development of tactile graph generation web application using R statistics software environment“. In: *IEICE Transactions on Information and Systems* E99D.8 (2016), S. 2151–2160. ISSN: 17451361.
- [WB06] Steven A. Wall und Stephen A. Brewster. „Tac-tiles: multimodal pie charts for visually impaired users“. In: *4th Nordic Conference on Human-Computer Interaction*. Bd. 189. October. 2006, S. 9–18.
- [Won11] Bang Wong. „Color blindness“. In: *Nature Publishing Group* 8.6 (2011), S. 441. ISSN: 1548-7091.
- [Wör+16] Torsten Wörtwein, Boris Schauerte, Karin Müller und Rainer Stiefelhagen. „Mobile interactive image sonification for the blind“. In: *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)* 9758 (2016), S. 212–219. ISSN: 16113349.
- [Yau11] Nathan Yau. *Visualize This: the FlowingData Guide to Design, Visualization, and Statistics*. 2011.
- [YB02] W. Yu und S.A. Brewster. „Comparing two haptic interfaces for multimodal graph rendering“. In: *10th Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems*. March. 2002, S. 3–9. ISBN: 0769514898.
- [Yu+01] W. Yu, R. Ramloll und S.A. Brewster. „Haptic graphs for blind computer users“. In: (2001).

- [ZS95] C.B. Zilles und J.K. Salisbury. „A constraint-based god-object method for haptic display“. In: *Proceedings 1995 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. Human Robot Interaction and Cooperative Robots* 3 (1995), S. 146–151.
- [Bra10] Braille Authority of North America. *Guidelines and Standards for Tactile Graphics*. Hrsg. von Braille Authority of North America. 2010. URL: <http://www.brailleauthority.org/tg>.
- [DIA15] DIAGRAM Center. *Image Description Guidelines*. 2015. URL: <http://diagramcenter.org/table-of-contents-2.html>.
- [UK 12] UK Association for Accessible Formats, Hrsg. *Describing images 2: Charts and graphs – Guidance from UKAAF*. 2012.
- [Vie09] Viewplus Technologies Inc., Hrsg. *Audio Graphing Calculator 3.0 Manual*. 2009.
- [Vie10] Viewplus Technologies Inc., Hrsg. *ViewPlus IVEO Creator 2.0 and Creator Pro 2.0 Manual*. 2010.
- [Vie16] ViewPlus Technologies Inc., Hrsg. *ViewPlus Software Suite 6 User Manual*. 2016.

Inhaltsverzeichnis der CD-ROM

- 01 _Masterarbeit** Enthält die vollständige Masterarbeit als PDF.
- 02 _Nutzerstudie _Materialien** Die in der Nutzerstudie verwendeten Diagramme, jeweils mit Legende und Bildbeschreibung und der Fragebogen. Enthält auch die Daten und zur Erzeugung verwendeten Befehle.
- 03 _Nutzerstudie _Mitschrift** Die Mitschriften zur Nutzerstudie.
- 04 _SVGPlott** Der Quellcode und die ausführbare .jar-Datei von SVGPlott.

Erklärung

Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig, unter Angabe aller Zitate und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Unterschrift

Datum