

Mathias Frisch und Raimund Dachselt

---

## 5.1 Einleitung

In den letzten Jahrzehnten wurden verschiedenste Typen und Formfaktoren von interaktiven Oberflächen entwickelt. Sie reichen von Tablet-PCs über elektronische Whiteboards bis hin zu großflächigen Tabletops und Wand-Displays. Wurden anfangs oft nur Single-Touch und Stift-Eingabe unterstützt (z. B. auf PDAs oder Tablets), so hat sich in letzter Zeit Multi-Touch-Interaktion immer weiter durchgesetzt. Das direkte Interagieren mit mehreren Fingern besitzt großes Potential, Aufgaben auf natürliche und intuitive Weise zu erledigen. Touch-Interaktion birgt allerdings auch einige Nachteile. Präzises Interagieren wird durch die Dicke der Finger zumeist erschwert, und bestimmte Aufgaben, wie zum Beispiel das Zeichnen von Formen, fühlen sich mit dem Finger oft unnatürlich an. Der Stift ist hierfür besser geeignet, weshalb zahlreiche Anwendungen entwickelt wurden, die das digitale Skizzieren mit Stiften auf interaktiven Displays unterstützen (u. a. [3, 16, 28, 42]). Diese sehr natürliche Art der Interaktion wird jedoch immer noch häufig mit traditionellen Graphical User Interfaces (GUIs) kombiniert. Die Folge ist, dass der Stift verwendet werden muss, um Menüs aufzurufen, zum Beispiel, um von einem Modus in einen anderen zu wechseln. Der Stift dient dabei lediglich als Maus-Ersatz und der natürliche Fluss des freien Skizzierens geht verloren.

In diesem Kapitel wird die Entwicklung eines Sets von Interaktionstechniken vorgestellt, das Stift- und Multi-Touch-Eingabe miteinander kombiniert. Das Zusammenführen dieser

---

M. Frisch  
MID GmbH, Nürnberg, Deutschland  
e-mail: m.frisch@mid.de

R. Dachselt (✉)  
Interactive Media Lab Dresden, TU Dresden, Dresden, Deutschland  
e-mail: raimund.dachselt@tu-dresden.de

beiden Modalitäten wurde bis jetzt kaum betrachtet [20, 41]. Es ist jedoch sehr vielversprechend für ein effizienteres und effektiveres Arbeiten in diversen Anwendungsdomänen. Beide Modalitäten können sich sinnvoll ergänzen, um zum Beispiel schnelle Modus-Wechsel mit Finger-Gesten auszuführen, ohne das Zeichnen und präzise Interagieren mit dem Stift zu unterbrechen.

Für die Realisierung entsprechender Touch- und Stift-Techniken wurde das Editieren von Node-Link-Diagrammen als Beispiel-Domäne gewählt. Grafische Visualisierungen von Netzwerken und Strukturdiagrammen spielen eine immer größere Rolle in vielen Gebieten. Daten- und Software-Modellierung, Geschäftsprozessmodellierung sowie die Visualisierung von Stoffwechselabläufen in der Biologie [32] sind nur einige Beispiele. In der Regel kommen bei den entsprechenden Notationen (z. B. UML oder BPMN) Node-Link-Diagramme zum Einsatz. Diese Graph-Strukturen können sehr komplex sein. Sie werden außerdem häufig in der Gruppe bearbeitet, regelmäßig verändert und weiterentwickelt. Neben der Verwendung digitaler Editoren und Modellierungstools werden Diagramme auch oft per Hand auf Whiteboards oder Papier gezeichnet [4, 6, 35]. Aufgrund dessen sind interaktive Displays, die Multi-Touch- und Stift-Eingabe kombinieren, sehr vielversprechend für das Erstellen und Editieren von Node-Link-Diagrammen. Bis jetzt wurden interaktive Oberflächen in dieser Anwendungsdomäne jedoch kaum genutzt, und die wenigen existierenden Arbeiten nutzen ausschließlich Multi-Touch [7, 31].

Die folgenden Abschnitte beschreiben den verallgemeinerbaren Entwicklungsprozess von entsprechenden bimanualen Touch- und Stift-Interaktionstechniken, der zunächst von einer Pilotstudie ausgeht, in der Probanden Gesten zum Editieren von Diagrammen vorschlugen. Aufbauend auf diesen Vorschlägen wurde dann ein entsprechender Prototyp implementiert und evaluiert. Neben der Beschreibung des Entwicklungsprozesses und der Interaktionstechniken werden auch die Vor- und Nachteile sowie besondere Charakteristika des gewählten Ansatzes diskutiert.<sup>1</sup>

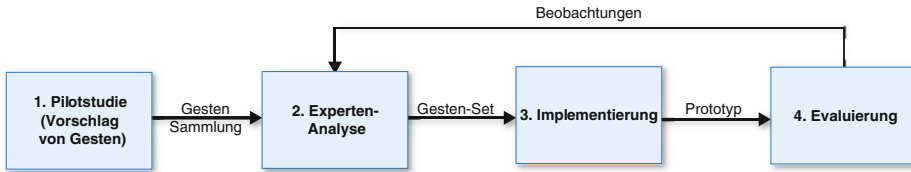
---

## 5.2 Überblick über die Vorgehensweise

Ein erster Schritt in Richtung Erstellung und Bearbeitung von Node-Link-Diagrammen auf interaktiven Oberflächen war die Entwicklung eines grundlegenden Sets von Interaktionstechniken, welches die wichtigsten Aufgaben dieses Anwendungsbereichs abdeckt. Diese Techniken sollen als Grundlage für weitere Forschungen dienen und daher unabhängig von einer konkreten Diagramm-Notation sein. Multi-Touch-Interaktion ist bis jetzt für das Editieren von Diagrammen nicht angewendet worden. Wir verfolgten daher einen Nutzerzentrierten Designansatz, um Nutzer von Anfang an in die Entwicklung mit einzubeziehen.

---

<sup>1</sup> Die Dissertation von Mathias Frisch [13] bietet eine vertiefende Darstellung der in diesem Kapitel zusammengefassten Themen.



**Abb. 5.1** Überblick über den Ablauf des Entwicklungsprozesses zur Entwicklung von Multi-Touch- und Stift-Interaktionstechniken

Insbesondere bestand das Ziel darin, ein tieferes Verständnis davon zu bekommen, wie Anwender spontan Node-Link-Diagramme mit Fingern und Stift bearbeiten würden und welche Gesten sie dafür wählen würden. Die vielversprechendsten Techniken sollten dann implementiert und evaluiert werden.

Prinzipiell existieren zwei Ansätze, um Nutzer von Beginn an in den Entwicklungsprozess zu integrieren. Es ist möglich, Nutzer zu beobachten, während sie mit realen physischen Objekten interagieren [21, 30, 33, 37]. Diese Beobachtungen können dann in die Entwicklung von Interaktionstechniken einfließen, die als natürlicher empfunden werden. Der zweite Ansatz besteht darin, dass potentielle Nutzer konkrete Vorschläge machen, wie Interaktionstechniken aussehen sollten, um bestimmte Aufgaben zu lösen [8, 24–26, 39].

Graphen sind von abstrakter Natur und haben keine physische Repräsentation in der realen Welt. Daher ist es nur schwer möglich, Nutzer dabei zu beobachten, wie sie mit „realen“ Diagrammen interagieren. Damit stellt diese Anwendungsdomäne eine besondere Herausforderung dar, die jedoch nicht untypisch für viele Bereiche ist. Das Zeichnen von Diagrammen auf Papier oder Whiteboards geschieht ausschließlich mit dem Stift. Es kann zwar beobachtet werden, wie zum Beispiel Papier-Blätter während des Skizzierens mit den Fingern manipuliert werden und welche Rolle die nicht-dominante Hand beim Zeichnen spielt [15]. Die Diagramme direkt mit den Fingern zu verändern, ist jedoch kaum möglich.

Ausgehend von diesen Vorüberlegungen wendeten wir einen vierstufigen Entwicklungsprozess an (siehe Abb. 5.1). Beginnend mit einer Pilotstudie wurden Probanden gebeten, Gesten für grundlegende Diagramm-Editier-Aufgaben vorzuschlagen. Dabei wurde ein ähnlicher Studienaufbau wie der von Nielsen et al. [26] vorgeschlagene gewählt (siehe Abb. 5.1, Schritt 1). Details dieses Experiments werden in Abschn. 5.3 vorgestellt. Im Gegensatz zu ähnlichen bisher durchgeführten Studien dieser Art (z. B. [8, 39]) sollten die vorgeschlagenen Gesten nicht nur gesammelt werden, sondern in ein konsistentes Set von Interaktionstechniken einfließen, das implementiert und evaluiert werden kann. Im Ergebnis der Pilotstudie entstand jedoch eine inkonsistente Gestensammlung, da teilweise die gleichen Gesten für mehrere Aufgaben vorgeschlagen wurden. Daher konnten die Gesten auch nicht sofort nach diesem ersten Schritt implementiert werden.

Vielmehr war eine weitere Stufe zur Analyse und Überarbeitung notwendig (siehe Abb. 5.1, Schritt 2). Dabei flossen sowohl Expertenwissen als auch weitere Beobachtungen aus der Pilotstudie sowie Vorschläge der Studien-Teilnehmer ein. Einzelheiten dieses

Schrittes werden in Abschn. 5.4 vorgestellt. Das Ergebnis ist ein konsistentes Set aus Touch- und Stift-Techniken, das dann im dritten Schritt des Entwicklungsprozesses implementiert werden konnte (siehe Abb. 5.1, Schritt 3). Diese Umsetzung wurde schließlich in einem vierten Schritt evaluiert, um die Benutzerakzeptanz des Systems zu überprüfen (siehe Abb. 5.1, Schritt 4 und Abschn. 5.5). In den folgenden Abschnitten werden die einzelnen Phasen des Entwicklungsprozesses näher betrachtet.

---

### 5.3 Sammlung der von Nutzern vorgeschlagenen Gesten

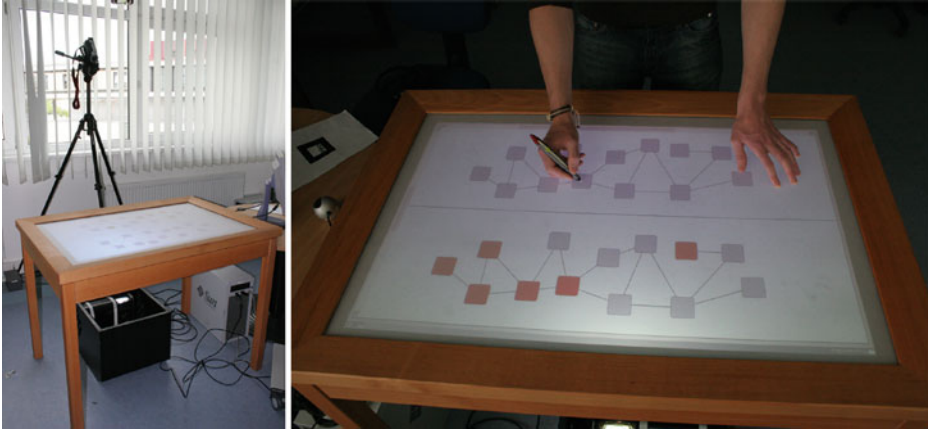
Der folgende Abschnitt beschreibt die Pilotstudie, die den ersten Schritt unseres Entwicklungsprozesses darstellt.<sup>2</sup> Grundsätzlich existieren zwei typische Ansätze, um Node-Link-Diagramme zu erstellen – zum einen werden Diagramme *skizziert*, zum anderen werden sie durch sogenanntes *strukturiertes Editieren* erzeugt. Während ersteres bedeutet, dass Diagramme frei und ad-hoc in einem informellen Stil auf Papier oder Whiteboards gezeichnet werden, bedeutet strukturiertes Editieren, dass Diagramme basierend auf bestimmten syntaktischen Regeln in digitalen mausbasierten Modellierungswerkzeugen erstellt werden. Diese beiden Vorgehensweisen schließen sich natürlich nicht aus und können auch miteinander kombiniert werden.

Für die Pilotstudie gingen wir davon aus, dass beide genannten Ansätze als mentales Modell bei den Probanden zu finden wären. Damit würden diese auf entsprechende Verfahren, Vorkenntnisse und bekannte Werkzeuge zurückgreifen. Deshalb war es unser Ziel, beide Ansätze zu unterstützen – sowohl Touch-Interaktion (vorrangig für strukturiertes Editieren) als auch Stifteingabe (vorrangig zum Skizzieren) – und ebenso die Kombination aus Touch und Stift. Basierend auf diesen Überlegungen verfolgten wir das Ziel, die vielversprechendsten Gesten zu sammeln. Darüber hinaus sollten die folgenden Fragen geklärt werden:

- Welcher Natur sind die Gesten, die von den Probanden vorgeschlagen werden?
- Gibt es ein hohes Maß an Übereinstimmung unter den Probanden für bestimmte Gesten und Aufgaben?
- Sind die Gesten für alle Aufgaben ausreichend voneinander zu unterscheiden?
- Welche Aufgaben werden bevorzugt beidhändig erledigt?
- Wird der Stift in Kombination mit Touch-Interaktion eingesetzt? Wenn ja, für welche Aufgaben?

---

<sup>2</sup> Dieser Abschnitt beinhaltet Material, das zuvor in [9, 10, 18] veröffentlicht wurde.



**Abb. 5.2** Aufbau der Studie: Die vorgeschlagenen Gesten wurden von oben aufgezeichnet (*links*); Probanden wurden gebeten, Touch- und Stift-Gesten auf dem Display auszuführen (*rechts*). Die Abbildung zeigt die Aufgabe „Selektieren mehrerer Knoten (*rot markiert*) eines Diagramms“

### 5.3.1 Aufbau der Pilotstudie

Jeder Teilnehmer wurde gebeten, Gesten für 14 grundlegende Editier-Aufgaben vorzuschlagen. Dabei wurden Aufgaben, wie zum Beispiel das Erstellen, Löschen, Auswählen und Kopieren von Diagramm-Elementen, gestellt. Eine nähere Beschreibung der Aufgaben ist auch in Abb. 5.4 (unten) zu finden sowie in der ersten Spalte der Abb. 5.5. Für jede Aufgabe wurden die Studienteilnehmer gebeten, Gesten mit drei verschiedenen Interaktionsmodalitäten vorzuschlagen:

- **T1:** Einhand-Interaktion: Die Probanden sollten die Aufgabe mit einer Hand lösen. Dabei konnten alle Finger der Hand verwendet werden.
- **T2:** Zweihand-Interaktion: Die Probanden wurden gebeten, die Aufgabe mit beiden Händen zu lösen.
- **T3:** Stift-Interaktion: Die Probanden sollten eine Stift-Geste vorschlagen. Dabei wurde es ihnen freigestellt, nur den Stift zu verwenden oder die nicht-dominante Hand als Unterstützung dazu zu nehmen.

Um die Ergebnisse auf eine Vielzahl von Diagrammnotationen und -typen anwenden zu können, wurde für die Studie eine sehr elementare Notation genutzt (siehe Abb. 5.2 rechts). Ein Knoten wird durch ein Rechteck dargestellt und kann skaliert und positioniert werden. Eine Kante verbindet immer zwei Knoten und kann entweder gerichtet (mit Pfeilspitze) oder ungerichtet sein. Außerdem gibt es zwei beispielhafte Kantentypen (durchgezogen und gestrichelt). Knoten, die durch Kanten verbunden sind, bilden ein Node-Link-Diagramm. Ein Teil davon wird Sub-Graph genannt.

**Probanden** 17 Probanden (alle männlich und Rechtshänder, im Alter von 23 bis 34) nahmen an der Studie teil. Mit Ausnahme von drei Studenten waren alle Mitarbeiter der Fakultät Informatik und besaßen einen Hintergrund in Softwareentwicklung. Die Teilnehmer waren keine professionellen Modellierer, besaßen aber Kenntnisse über digitale Modellierungs-Tools, wie zum Beispiel UML-Editoren. Modellierungsexperten wurden in diesem Entwicklungsschritt nicht hinzugezogen. Wir wollten untersuchen, wie gelegentliche Nutzer von Modellierungs-Tools mit unserem System interagieren würden. Dennoch sollten die Teilnehmer elementare Kenntnisse über Node-Link-Diagramme besitzen. Keiner der Probanden verfügte über tiefere Kenntnisse in Mensch-Computer-Interaktion oder Interaction Design. Acht von ihnen gaben an, dass sie regelmäßig Smartphones mit Touch- oder Stifteingabe verwenden. Keiner hatte zuvor einen Tabletop verwendet.

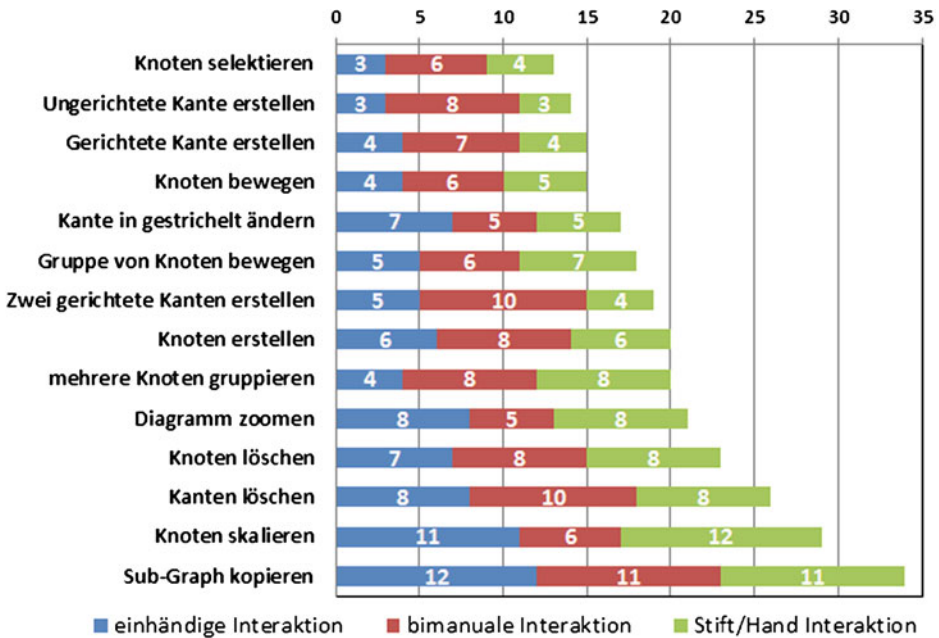
**Studienaufbau** Die Studie wurde an einem Tabletop durchgeführt (Auflösung: 1280 × 800 Pixel, Displaygröße: 100 × 80 cm, Touch-Erkennung durch FTIR [17]), auf dem die 14 Aufgaben angezeigt und Berührungen mit Fingern und Stift erkannt wurden. Darüber hinaus wurden die durchgeführten Gesten mit einer Videokamera über dem Tisch erfasst (siehe Abb. 5.2). Neben der digitalen Erfassung notierten zwei Beobachter Kommentare der Probanden.

**Ablauf** Bevor die Probanden Gesten vorschlagen sollten, wurde jede Aufgabe kurz erläutert. Für die Studie wurde die Anzeige auf dem Tabletop in zwei horizontale Bereiche geteilt, wobei im unteren Bereich der Ausgangszustand des Diagramms und im oberen Bereich der Endzustand einer Aufgabe dargestellt wurden. Die Teilnehmer wurden dann gebeten, spontane Gesten im unteren Bereich des Displays auszuführen, die vom Ausgangspunkt zum oben als Orientierung dargestellten Zielzustand führen sollten. Dabei erhielten sie keinerlei visuelles Feedback von der Anwendung.

Jeder Teilnehmer wurde gebeten, mit der Eingabemodalität zu beginnen, die er für die jeweilige Aufgabe als am besten geeignet ansah, also eine Hand (T1), zwei Hände (T2) oder Stift (T3). Danach sollten Gesten mit den beiden verbleibenden Modalitäten durchgeführt werden. Nach jeder Aufgabe wurden die Teilnehmer gebeten, die Eignung der Techniken auf einer 5-Punkt-Likert-Skala in einem Fragebogen anzugeben. Die durchschnittliche Dauer eines Durchlaufs betrug 16 Minuten.

### 5.3.2 Resultate der Studie

Während der Studie wurden 658 Gesten aufgezeichnet. In 53 Fällen war es Probanden nicht möglich, eine Geste vorzuschlagen – in 2 Fällen für Einhand-Interaktion, in 46 Fällen für Zweihand-Interaktion und in 5 Fällen für Stift-/Touch-Interaktion. Bezüglich Stift-Interaktion wurden nur 28 von 232 Stift-Gesten bimanual (d.h. mit Unterstützung der nicht-dominanten Hand) durchgeführt. Die meisten Gesten mit Stift/Hand-Kombination

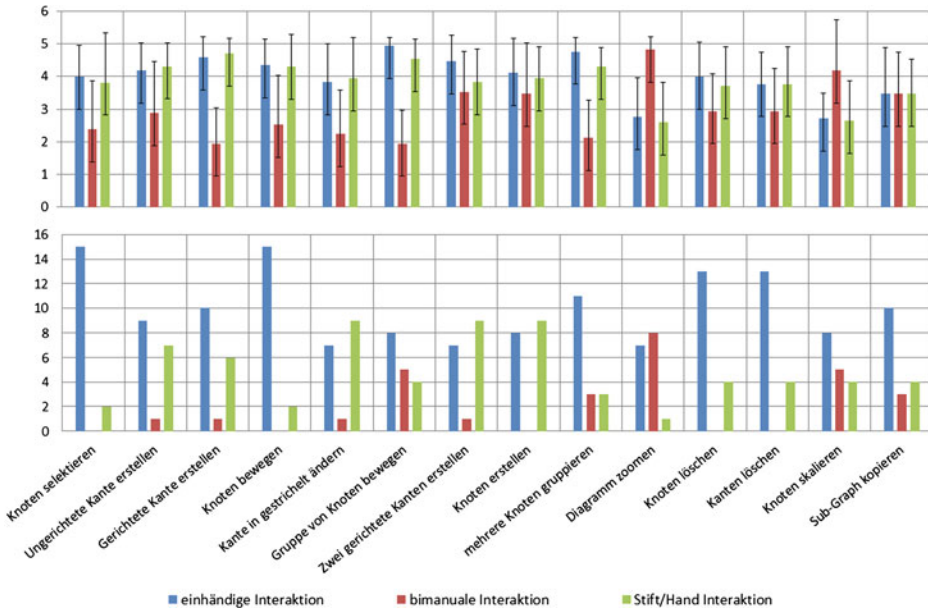


**Abb. 5.3** Anzahl gleicher Gesten für jede Aufgabe und jede Modalität in aufsteigender Reihenfolge. Eine kleine Anzahl zeigt eine hohe Übereinstimmung zwischen den Probanden. Eine hohe Anzahl lässt auf niedrige Übereinstimmung schließen

wurden für die Aufgaben „Knoten skalieren“ und „Diagramm zoomen“ mit jeweils 5 Gesten vorgeschlagen.

**Analyse und Klassifikation der Gesten** Während der Analyse des Videomaterials und der schriftlichen Protokolle wurden 26 textuelle Abkürzungen zur Beschreibung gleicher (oder sehr ähnlicher) Gesten für jede Aufgabe und jede Interaktionstechnik erstellt. Bei den Abkürzungen wurde auch berücksichtigt, ob eine Geste mit dem Finger oder dem Stift durchgeführt wurde, bzw. ob es sich um eine einhändige oder beidhändige Geste handelte. Ferner notierten wir, ob bestimmte Formen skizziert wurden (beispielsweise Kreise, Linien oder Pfeilspitzen).

Auf diese Weise wurden für jede Aufgabe Gruppen mit gleichen oder sehr ähnlichen Gesten gebildet. Abbildung 5.3 gibt einen Überblick über die Anzahl von Gruppierungen für jede Aufgabe (Zeilen) und für jede Modalität (Färbung der Balken). Die Anzahl der Gruppen von Gesten pro Aufgabe gibt einen Hinweis auf den Grad der Übereinstimmung zwischen den Teilnehmern. Die geringste Varianz (insgesamt 13 Gruppen) wurde für die Aufgabe „Knoten selektieren“ identifiziert. Dies kann als die höchste Übereinstimmung unter den Teilnehmern interpretiert werden. Die meisten Varianten von Gesten (insgesamt 34),



**Abb. 5.4** Oben: Mittelwerte des Usability-Fragebogens für jede Aufgabe (1 = nicht geeignet, 5 = sehr geeignet). Unten: Häufigkeiten, wie oft eine Modalität die erste Wahl der Probanden darstellte. Beide Diagramme zeigen drei Modalitäten für jede Aufgabe (von links nach rechts): Einhand- (blau), Zweihand- (rot) und Stift/Hand-Interaktion (grün)

und damit das geringste Maß an Übereinstimmung, wurde für die Aufgabe „Sub-Graph kopieren“ identifiziert.

**Evaluierung der Tauglichkeit** Die Ergebnisse des Usability-Fragebogens sind in Abb. 5.4 (oben) dargestellt. Generell wurden Einhand- und Stift-Interaktion besser bewertet als Zweihand-Interaktion, wobei jedoch nicht zwischen den beiden Modalitäten unterschieden wurde. Ausnahmen sind die Aufgaben „Knoten skalieren“ und „Diagramm zoomen“. Hier wurde beidhändige Interaktion besser bewertet. Darüber hinaus wurde Zweihand-Interaktion auch für die Aufgaben „mehrere Knoten selektieren“ und „gruppierte Knoten bewegen“ als relativ gut beurteilt. Für die Aufgabe „Knoten kopieren“ wurden alle drei Interaktionsmodalitäten gleichermaßen bewertet, was sicherlich der recht abstrakten Aufgabe zugeschrieben werden kann.

**Erste Wahl der Interaktion** Wie oben erwähnt, wurde es den Probanden freigestellt, mit welcher Art der Interaktion sie beginnen wollten, um Gesten für die jeweilige Aufgabe vorzuschlagen. In 141 Fällen (59 % der Aufgaben) begannen die Teilnehmer, mit einer Hand zu interagieren. Bimanuale Interaktion wurde in nur 28 Fällen gewählt (12 %) und Stift-/Hand-Interaktion in 68 Fällen (29 %). Abbildung 5.4 (unten) zeigt die erste Wahl der Probanden für jede Aufgabe in absoluten Werten. Für die vier Aufgaben zur Erstellung von



Diagramm-Elementen und für das Ändern einer Kante wurden einhändige Interaktion und Stift-/Hand-Eingabe bevorzugt. Dies spiegelt auch die Ergebnisse des Fragebogens wider.

Für das Selektieren und Bewegen von Knoten starteten 15 Probanden spontan mit Einhand-Interaktion. Dies ist hoch signifikant im Vergleich zur Stift-Interaktion ( $F(2,16) = 58,8$ ,  $p < 0.001$  für beide Aufgaben). Das gleiche Verhalten konnte für das Löschen von Elementen beobachtet werden, wieder wurde Einhand-Interaktion deutlich bevorzugt ( $F(2,16) = 52,0$ ,  $p < 0.05$  für beide Aufgaben). Bezüglich der Interaktion mit einer Hand konnten wir beobachten, dass viele Teilnehmer nicht zwischen der Anzahl der verwendeten Finger unterschieden. Single-Touch-Gesten wurden mit einem, zwei oder sogar drei Fingern durchgeführt. Dies bestätigt unter anderem die Ergebnisse von Wobbrock et al. [39].

Zum Selektieren mehrerer Knoten und zum Bewegen einer Gruppe von Knoten wurde Einhand-Interaktion ebenfalls bevorzugt. Für letzteres tendierten die Teilnehmer aber auch zu bimanueller Interaktion. Das Skalieren eines Knotens begannen acht Teilnehmer (47 %) mit einer Hand, was jedoch im Vergleich zu den anderen beiden Modalitäten nicht signifikant ist. Beim Zoomen eines Diagramms zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen Stift-/Hand-Interaktion und den anderen Modalitäten ( $F(2,15) = 8,79$ ,  $p < 0.05$ ). Dennoch beurteilten die Teilnehmer beidhändige Interaktion als wesentlich geeigneter.

**Nutzerverhalten und mentale Modelle** Während der Studie wurde eine große Beeinflussung der meisten Probanden durch das Desktop-Paradigma festgestellt. Speziell für abstrakte Aufgaben, wie das Skalieren eines Knotens oder das Kopieren eines Sub-Graphs fiel es vielen Teilnehmern schwer, spontan Gesten vorzuschlagen. Kommentare wie „Ich würde hier auf einen Button drücken“ bzw. das Ziehen von Knoten auf einen imaginären Papierkorb zeigten den starken Einfluss der Desktop-Metapher. Darüber hinaus wünschten sich viele Teilnehmer einen Rahmen oder Anfasser, um Diagramm oder Knoten skalieren zu können. Ein weiteres, häufig beobachtetes Verhalten war das Halten der nicht-dominanten Hand auf den Hintergrund, um einen bestimmten Modus zu aktivieren, während die eigentliche Geste mit der dominanten Hand ausgeführt wurde. Dies ist vergleichbar mit dem gedrückt Halten der „Strg“-Taste auf der Tastatur.

Wir beobachteten kaum Situationen, in denen die Teilnehmer spontan die nicht-dominante Hand nutzten, um Stifteingaben zu unterstützen. Ausnahmen waren Skalier- und Zoom-Aufgaben, bei denen mit Stift und Finger eine Pinch-Geste ausgeführt wurde. Diese Vorgehensweise wurde allerdings relativ schlecht bewertet. Den Grund dafür sehen wir in der Asymmetrie dieser Geste (vgl. [15]).

Wenn möglich, wurden beide Herangehensweisen eingesetzt – *freies Skizzieren* und *strukturiertes Editieren*. Zum Erstellen von Knoten zogen zum Beispiel sieben Teilnehmer Rechtecke mit dem Stift oder Finger (ähnlich wie beim Skizzieren auf Papier), und fünf Teilnehmer tippten mit dem Finger auf die entsprechende Stelle des Displays (ähnlich einem Mausclick in einem digitalen Editor).

Für das Erstellen von Kanten wurde das Zeichnen mit Finger oder Stift bevorzugt. Allerdings wurden auch bimanuale Gesten vorgeschlagen, wie zum Beispiel das sequentielle Tippen auf Quell- und Zielknoten. Um Elemente zu löschen, wurden Wisch-Gesten





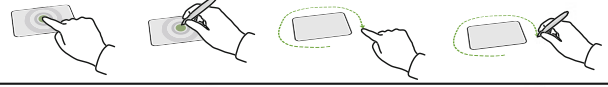


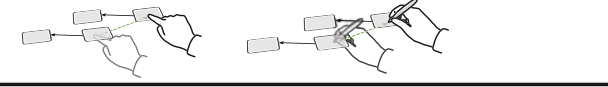

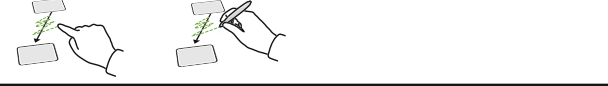
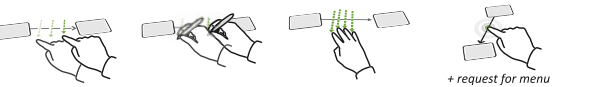
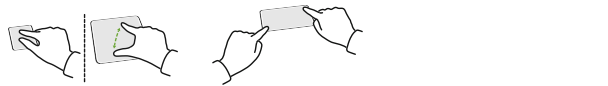
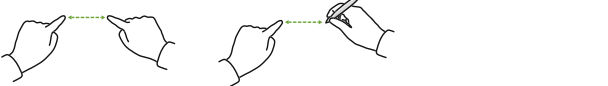

durchgeführt, was dem Durchstreichen von skizzierten Elementen ähnelt. Für skizzierende Gesten wurde nicht spontan zwischen Finger und Stift unterschieden. Es konnte also keine Präferenz für eine dieser beiden Modalitäten festgestellt werden.

**Unerwartete Gesten** Wir beobachteten auch einige besondere und unerwartete Gesten. Um Elemente zu löschen, wurden zum Beispiel *symbolische* Gesten wie das Zeichnen von „X“ oder „d“ auf dem Hintergrund vorgeschlagen. Darüber hinaus zogen viele Teilnehmer Knoten vom Display, um diese zu löschen. Dieses Verhalten wurde auch von Wobbrock et al. [39] beschrieben. Da in Diagramm-Editoren die Arbeitsfläche typischerweise endlos ist, hatten wir ein solches Verhalten allerdings nicht erwartet. Das Ziehen eines Knotens über die Grenze der Darstellung hinaus könnte den Knoten ja auch in den Off-Screen-Bereich positionieren. Darüber hinaus wurden Gesten vorgeschlagen, die nicht durch unsere Hardware erkannt werden können. Zum Beispiel wurden Knoten kopiert, indem eine Hand in der Luft gewendet wurde, Hände übereinander und dann auseinander bewegt wurden oder Diagramm-Elemente mit der Hand gegriffen und dann durch die Luft befördert wurden. Einige Probanden legten den Stift auf die Oberfläche und bewegten ihn in dieser Position über das Display, um mehrere Elemente zu verschieben. Diese ungewöhnlichen Gesten sind auch vielversprechend für zukünftige Forschungsarbeiten im Bereich Cross-Device-Interaction, d. h. über die Grenzen einzelner Geräte hinweg.

**Erstellung der Gestensammlung** In Abb. 5.5 ist das Ergebnis der Pilotstudie – eine Sammlung von ausgewählten Gesten – dargestellt. Dabei wurden jedoch nicht nur die am häufigsten vorgeschlagenen Gesten berücksichtigt. Da die Probanden jeweils Gesten mit drei Modalitäten durchführen sollten, wurden einige Gesten relativ oft vorgeschlagen, obwohl die Teilnehmer sie als eher untauglich empfanden (z. B. das Zoomen eines Diagramms mit einer Hand). Diese Gesten erhielten entsprechend niedrige Bewertungen auf dem Usability-Fragebogen. Daher wurden zunächst die Ergebnisse des Fragebogens analysiert und Gesten mit schlechter Bewertung entfernt, auch wenn sie relativ oft vorgeschlagen wurden.

Aus den verbleibenden Gesten wurden dann die am häufigsten durchgeführten ausgewählt. Für die Aufgaben, die sowohl durch *Skizzieren* als auch durch *strukturiertes Editieren* gelöst werden können, wurden jedoch nicht nur die Top-Kandidaten berücksichtigt. Die Beobachtungen legten nahe, wenn möglich beide Lösungsansätze zu verfolgen. Daher wurde für solche Fälle, wie etwa das Erstellen oder Löschen von Elementen, mehr als eine Geste in die Sammlung aufgenommen. Durch das Bereitstellen mehrerer Wege zur Lösung einer Aufgabe wird Redundanz in das System eingebracht. Das ist ein bekanntes Prinzip aus traditionellen GUIs, bei denen z. B. Tastaturkürzel und Mausbedienung gleiche Funktionen auslösen können. Nach unserer Auffassung sind redundant bereitgestellte Interaktionstechniken jedoch gerade für natürliche Benutzungsschnittstellen ein wichtiger Grundsatz. Zur Erstellung der Gestensammlung wurde also kein strenger Mehrheitsentscheid angewendet, sondern vielmehr Prinzipien des Interaktionsdesigns berücksichtigt.

**Konflikte** Während der Studie konnten mehrere Doppeldeutigkeiten beobachtet werden. Das heißt, dass die gleiche Geste für verschiedene Aufgaben vorgeschlagen wurde. Da wir

<p><b>1. Create node</b> Sequential tapping using finger of one or both hands, drawing outlines with finger or pen, copying an existing node by fixing the original node and dragging it with finger or pen.</p>	
<p><b>2. Create undirected edge</b> Drawing a line using finger or pen. Sequential tapping of nodes.</p>	
<p><b>3. Create directed edge</b> Drawing an arrow using finger or pen. Holding source node of edge by one hand and dragging edge to target node by the other hand using finger or pen.</p>	
<p><b>4. Create two directed edges</b> Drawing two single arrows, one forth and one back, using finger or pen. Drawing single line back and forth using finger or pen.</p>	
<p><b>5. Select single node</b> Repeated tapping using finger or pen, encircling using finger or pen, also with both hands simultaneously (not all cases are illustrated).</p>	
<p><b>6. Select group of nodes</b> Sequential tapping or encircling of nearby nodes using finger or pen.</p>	
<p><b>7. Move single node</b> Touching the node and dragging the node with finger or pen.</p>	
<p><b>8. Move group of nodes</b> Touching a node of the group and dragging with finger or pen.</p>	
<p><b>9. Delete node</b> Performing a wipe gesture over a node using hand or pen. Dragging a node to off-screen using finger or pen.</p>	
<p><b>10. Delete edge</b> Performing a wipe gesture over edge using hand or pen.</p>	
<p><b>11. Change type of edge</b> Drawing short orthogonal lines along an edge with pen or hand, performing a "rake" gesture using three or four fingers. Tapping an edge followed by a menu for selecting type of edge.</p>	 <p style="text-align: right;">+ request for menu</p>
<p><b>12. Scale node</b> Scale gesture using two expanding fingers of one or two hands.</p>	
<p><b>13. Zoom diagram</b> Zoom gesture using two expanding fingers of one or two hands or zoom gesture with finger and pen.</p>	
<p><b>14. Copy sub-graph</b> One hand keeps holding the source, while the other hand is dragging the copy to target position using finger or pen. After invoking menu/button, moving copy to target position.</p>	 <p style="text-align: right;">button or menu + dragging copied graph</p>

**Abb. 5.5** Von Nutzern vorgeschlagene Gesten für 14 typische Diagramm-Editier-Aufgaben

bewusst nicht von den Probanden verlangten, konsistente Gesten vorzuschlagen, ist dies nicht überraschend. Unter anderem unterschieden viele Teilnehmer beim Verbinden von Knoten nicht zwischen gerichteten und ungerichteten Kanten. Es traten auch Konflikte bei den Skalierungsaufgaben auf. Neben der Pinch-Geste war einer der häufigsten Vorschläge, Stift oder Finger diagonal über das Diagramm oder den Knoten zu ziehen. Dies kann nicht vom Bewegen eines Diagramm-Elements unterschieden werden. Die häufigsten Mehrdeutigkeiten traten jedoch beim Kopieren eines Sub-Graphen auf. Hier schlugen die meisten Probanden vor, die Kopie vom Original-Knoten zu ziehen, wobei dem ein Moduswechsel vorausgehen sollte, zum Beispiel durch Drücken einer Taste oder durch Auswahl eines entsprechenden Befehls aus einem Kontextmenü.

Gesten beinhalten von Natur aus inhärente Doppeldeutigkeiten, vor allem wenn sie eher metaphorisch sind. Abstrakte Gesten müssen jedoch von den Nutzern erlernt werden, was spontane Interaktion oft erschwert und vor allem für Laien eher hinderlich ist. Unsere Studie zeigt deutlich, dass Nutzer Mehrdeutigkeit lösen, indem Sie versuchen, den Kontext einzubeziehen (z. B. mit dem Vorschlag, Anfasser für die Skalierung zu verwenden). Es ist also mitunter dienlicher, kontextbezogene Hilfe anzubieten und für einfache, aber leicht zu merkende Gesten zu verwenden, anstatt Nutzer zu zwingen, abstrakte Gesten zu erlernen.

---

## 5.4 Experten-Analyse der Gesten-Sammlung und Implementierung

Wie bereits erwähnt, ist die Gesten-Sammlung in Abb. 5.5 nicht frei von Konflikten. Daher wurde in einem zweiten Schritt unseres Entwicklungsprozesses die Sammlung analysiert, und vorhandene Konflikte wurden aufgelöst.

### 5.4.1 Designziele

Vor der Durchführung einer genaueren Analyse der bestehenden Konflikte wurden allgemeine Designziele für die gestische Bearbeitung von Diagrammen aufgestellt. Sie basieren auf den Ergebnissen und den Beobachtungen aus der Pilot-Studie und dienen dazu, den benutzerzentrierten Designansatz umzusetzen:

- **G1:** Die Unterstützung beider vorherrschender Ansätze – *freies Skizzieren* und *strukturiertes Editieren* – soll beibehalten werden, da dies ein essentieller Faktor für die Nutzerzufriedenheit ist.
- **G2:** Die Einführung weiterer Gesten soll sich auf ein Minimum beschränken. Die vorgeschlagenen Gesten sollen stattdessen für verschiedene Aufgaben wiederverwendet werden [40].

- **G3:** Es soll die direkte Erstellung von Inhalten ermöglicht werden, ohne zeitraubendes Navigieren durch Menüs [5].

### 5.4.2 Auflösung von Konflikten

In der Gesten-Sammlung sind die folgenden Konflikte zu finden:

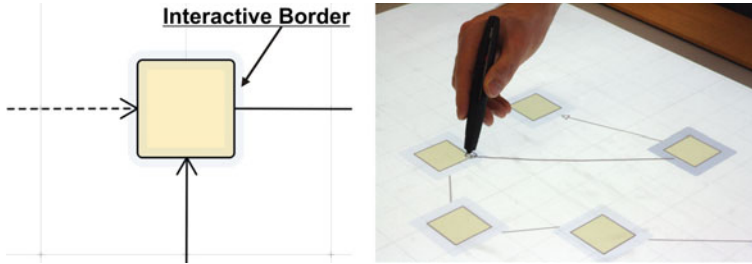
- **C1:** Einfügen einer Kante (Abb. 5.5, Aufg. 2) vs. Bewegen eines Knotens (Abb. 5.5, Aufg. 7): Wenn ein Knoten berührt wird und der Finger oder Stift sich zu bewegen beginnt, ist es nicht klar, ob der Knoten bewegt oder eine Kante eingefügt werden soll.
- **C2:** Knoten selektieren (Abb. 5.5, Aufg. 5) vs. Kanten einfügen durch Antippen (Abb. 5.5, Aufg. 2): Wenn mehrere Knoten nacheinander angetippt werden, ist es unklar, ob sie selektiert oder ob eine Kante zwischen ihnen erstellt werden soll.
- **C3:** Zeichnen einer Kante (Abb. 5.5, Aufg. 3) vs. Ziehen einer Kante (Abb. 5.5, Aufg. 3, letzte Geste): Beim Einfügen einer Kante ist es nicht klar, ob eine Kante zum Zielknoten gezogen werden soll (ähnlich einem Gummiband) oder ob die Kante skizziert werden soll (wie auf Papier oder Whiteboard).

In einigen Fällen bemerkten die Probanden der Piltostudie, dass sie die gleiche Geste für verschiedene Aufgaben vorgeschlagen hatten. Manche schlugen daraufhin auch Lösungen für diese Mehrdeutigkeiten vor. Auf Basis dieser Anregungen identifizierten wir einige allgemeine Lösungsmöglichkeiten für die oben genannten Konflikte, die sich nicht auf diesen konkreten Anwendungsfall beschränken.

Die trivialste Lösung ist sicherlich, bei jeder Doppeldeutigkeit eine neue, *zusätzliche Geste* zu verwenden. Dieser Ansatz würde jedoch im Widerspruch zu Designziel G2 stehen und würde den Lernaufwand für Nutzer erhöhen. Des Weiteren können, in Anlehnung an das WIMP-Paradigma (Windows, Icons, Menus, Pointer), *Menüs und Buttons* zum Wechsel in einen anderen Modus eingesetzt werden. Jedoch kann es mitunter schwierig sein, diese auf großen Oberflächen zu erreichen, insbesondere, wenn sie an traditionellen Stellen wie dem oberen Rand des Displays angeordnet sind. Außerdem steht dieser Ansatz in Konflikt mit Designziel G3, da eine zusätzliche Geste für den Menü-Aufruf notwendig wäre.

Ein weiterer Ansatz zur Lösung von Konflikten ist die Unterscheidung zwischen *verschiedenen Eingabemodalitäten* – in unserem Fall zwischen Touch- und Stift-Interaktion (ähnlich wie in der Arbeit von Hinckley et al. [20]). Dies würde bedeuten, dass zum Beispiel das Zeichnen von Diagramm-Elementen ausschließlich mit dem Stift durchgeführt wird, wohingegen Interaktionen, wie das Bewegen oder Skalieren, nur mit den Fingern erfolgen. Wie in Abschn. 5.3 erwähnt, haben wir jedoch keine Präferenz für eine der gegebenen Modalitäten beobachten können.

Auch die *Verweildauer* vor Fortführung einer Geste ist kein zuverlässiges Kriterium zur Auflösung von Mehrdeutigkeiten, weil sie von Nutzern unterschiedlich eingesetzt wird und



**Abb. 5.6** Interaktiver Rand um einen Knoten (*links*). Er ermöglicht die Unterscheidung zwischen dem Einfügen von Kanten und dem Selektieren bzw. Bewegen des Knotens. Eine Kante kann erzeugt werden, indem man auf den interaktiven Rand tippt oder von ihm aus zeichnet (*rechts*)

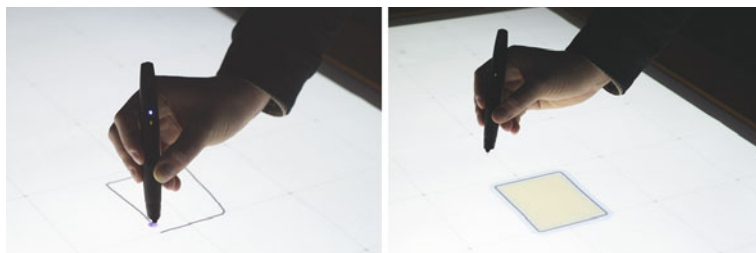
auch für einige Aufgaben eine unnötige Verzögerung des Interaktionsflusses hervorrufen würde.

Als letzte Variante können *zusätzliche grafische Bereiche* zur Verfügung gestellt werden, um einen zusätzlichen Interaktionskontext zu schaffen. Verschiedene Bereiche aktivieren unterschiedliche Funktionen, auch wenn die gleichen Gesten ausgeführt werden. Zum Beispiel kann der Rand eines Knotens berührt werden, um Kanten zu erzeugen, wohingegen das Innere des Knotens zum Selektieren verwendet wird. Mit diesem Ansatz können die Konflikte C1 und C2 aufgelöst werden.

Um die Konflikte in unserer Gesten-Sammlung zu lösen, entschieden wir uns, den letztgenannten Ansatz zu verfolgen und fügten jedem Knoten einen interaktiven Rand hinzu. Dieser dient als zusätzlicher grafischer Kontext (siehe Abb. 5.6 links). Er kann verwendet werden, um Kanten durch Antippen oder Skizzieren einzufügen (siehe Abb. 5.6 rechts). Jedes Mal, wenn er mit dem Stift oder den Fingern berührt wird, ändert sich seine Farbe, um visuelles Feedback zu geben. Auf diese Weise können alle Aktionen direkt und ohne vorherigen Modus-Wechsel durchgeführt werden.

### 5.4.3 Das Gesten-Set

Mit Hilfe des interaktiven Rahmens konnte nun ein Set von Interaktionstechniken entwickelt werden, das auf der ursprünglichen Gestensammlung (s. Abb. 5.5) basiert. Eine Übersicht der Interaktionstechniken ist in Abb. 5.8 dargestellt. Wie bereits erwähnt, wurde in diesem Stadium der Entwicklung nicht zwischen Touch- und Stifteingabe unterschieden. Daher können alle Techniken mit beiden Modalitäten durchgeführt werden (auch wenn in der Tabelle nur eine Variante dargestellt wird). Im Folgenden sollen nur einige ausgewählte Techniken näher beschrieben werden.



**Abb. 5.7** Erstellen eines Knotens durch Skizzieren: Zeichnen des Umrisses (*links*). Wenn der Stift abgesetzt wird, erscheint der entsprechende Knoten (*rechts*)

**Erstellen von Knoten** Ein Knoten kann erstellt werden, indem man seinen Umriss skizziert (Abb. 5.7) bzw. mit dem Finger oder Stift auf den Hintergrund tippt. Für letzteres muss der Typ des Knotens vorher aus einem Menü an der Seite des Displays ausgewählt werden. Der entsprechende Button im Menü kann auch mit der nicht-dominanten Hand gehalten werden, während der Knoten mit der dominanten Hand erzeugt wird. Die auf diese Weise durch *strukturiertes Editieren* erstellten Knoten haben eine vordefinierte Standardgröße.


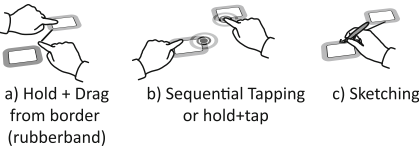



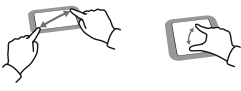
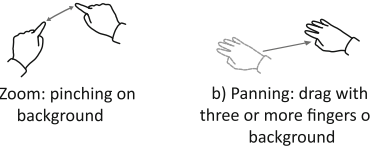
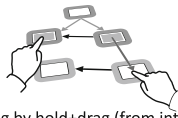

Während des Skizzierens wird eine dünne Linie als visuelles Feedback angezeigt (Abb. 5.7 links). Nach Anheben des Fingers oder Stifts wird die skizzierte Form sofort erkannt und der entsprechende Knoten erstellt (Abb. 5.7 rechts). Er hat eine Größe, die ungefähr dem Ausmaß der Skizze entspricht.

Knoten können auch durch Kopieren erzeugt werden (Abb. 5.9 links). Dabei wird der Knoten mit einem Finger festgehalten, während der andere die Kopie herunterzieht. Dabei muss das Dragging vom inneren Bereich des Knotens starten. Es wird automatisch ein Knoten des gleichen Typs und der gleichen Größe erstellt.

**Erstellen von Kanten** Zum Einfügen von Kanten wird der interaktive Rahmen der Knoten verwendet. Kanten können skizziert werden, indem eine Linie vom interaktiven Rand des Startknotens zum Zielknoten gezeichnet wird. Die Kante wird erkannt und eingefügt, sobald der Finger oder Stift abgesetzt wird. Eine zusätzliche gezeichnete Pfeilspitze resultiert in einer gerichteten Kante.

Bei der zweiten Variante kann das Einfügen einer Kante durch Ziehen von Ausgangs- zum Zielknoten wie mit einer Art Gummiband erfolgen. Diese Vorgehensweise ist aus vielen strukturierten Editoren bekannt. Um sie mit Multi-Touch-Interaktion zu realisieren, wird der Knoten mit einem Finger gehalten und die Kante mit einem anderen Finger oder Stift gezogen. Im Gegensatz zum Kopieren muss allerdings vom interaktiven Rand des Knotens gestartet werden. Dies modifiziert die vorgeschlagenen Gesten nur geringfügig, jedoch wird auf diese Weise Konflikt C1 gelöst.

Kanten können auch eingefügt werden, indem nacheinander auf die interaktiven Ränder von Quell- und Zielknoten getippt wird. Es ist auch möglich, den Rand eines Knotens festzuhalten und mit der anderen Hand mehrere Knoten anzutippen. Auf diese Weise

Task	Gestures
1. Create Node	 <p>a) Tapping      b) Sketching      c) Copying by hold + drag</p>
2. Create Edge	 <p>a) Hold + Drag from border (rubberband)      b) Sequential Tapping or hold+tap      c) Sketching</p>
3. Create Node(s)	 <p>a) Tapping      b) Encircling</p>
4. Move Node(s)	 <p>Dragging</p>
5. Delete Node or Edge	 <p>a) Wiping      b) Dragging off-screen</p>
6. Resize Node	 <p>Pinching on node for uniform scaling</p>
7. Zoom & Pan Diagram	 <p>a) Zoom: pinching on background      b) Panning: drag with three or more fingers on background</p>
8. Copy Sub-Graph	 <p>Copying by hold+drag (from interior of node)</p>
9. Change edge from solid to dashed	 <p>a) „Rake“ gesture      b) Sequential crossing</p>

**Abb. 5.8** Überblick über die implementierten Interaktionstechniken. Der interaktive Rand eines Knotens dient zum Einfügen von Kanten (siehe Task 2). Alle Techniken können sowohl mit Fingern als auch mit dem Stift ausgeführt werden (auch wenn nur eine Variante illustriert ist)





**Abb. 5.9** Kopieren eines Knotens durch eine bimanuale Technik: Wird der Knoten gehalten und mit einem Finger der anderen Hand von innen heraus gezogen (*links*), erscheint eine Kopie des Knotens (*Mitte*) und kann entsprechend positioniert werden, ohne den Finger abzusetzen (*rechts*)

können sehr schnell mehrere von einem Knoten ausgehende Kanten eingefügt werden, ohne abzusetzen.

**Weitere Techniken** Neben dem Erzeugen von Diagramm-Elementen ist es möglich, Sub-Graphen zu selektieren. Dies geschieht entweder durch sequentielles Antippen oder durch Einkringeln der entsprechenden Knoten. Selektierte Sub-Graphen können genau wie einzelne Knoten bewegt und kopiert werden. Kurzes Tippen auf den Hintergrund löst die Selektion wieder auf. Darüber hinaus ist es möglich, einzelne Knoten oder ganze Selektionen zu löschen, indem man eine Wisch-Geste über den entsprechenden Elementen ausführt. Elemente können auch vom Display gezogen werden. Sobald zum Beispiel ein Knoten den Rand der Arbeitsfläche überquert, wird er ausgegraut. Wird der Finger angehoben, verschwindet der Knoten und ist gelöscht.

Das Ändern einer durchgezogenen in eine gestrichelte Kante kann mit zwei Gesten bewerkstelligt werden: Entweder wird die Kante sequentiell mit einem Finger gekreuzt oder durch eine „Rake“-Geste (Harken, Rechen) mit mehreren parallel aufgesetzten Fingern geändert.

Zum Zoomen eines Diagramms und zum Skalieren von Knoten wird die Pinch-Geste [29] mit zwei Fingern oder Finger und Stift eingesetzt. Dabei wird die Geste auf dem Hintergrund bzw. auf dem entsprechenden Knoten ausgeführt. Das Verschieben eines Diagramms war nicht Teil der Pilotstudie. Dafür wurde eine zusätzliche Technik in das Gesten-Set aufgenommen: Das Bewegen von vier oder fünf Fingern aktiviert das Verschieben (engl. *Panning*), ähnlich der von Brandl et al. [2] vorgeschlagenen Technik.

#### 5.4.4 Implementierung der Interaktionstechniken

Im dritten Schritt unseres Entwicklungsprozesses wurden die oben beschriebenen Techniken in einem prototypischen Diagramm-Editor implementiert.

Die Anwendung wurde auf demselben Tabletop entwickelt, der auch für die Pilotstudie verwendet wurde. Das Gerät erlaubt Multi-Touch- und Stift-Interaktion durch die Kombi-

nation von FTIR [17] und der Anoto-Technologie [1]. Ähnlich dem Ansatz von Leitner et al. [23] wurde dazu eine Folie mit Anoto-Muster auf der Display-Oberfläche fixiert. Auf diese Weise wurde ein Hardware-Prototyp realisiert, der als Vorläufer von seit kurzem erhältlichen kommerziellen Geräten [27, 34] angesehen werden kann, die simultane Multi-Touch- und Stift-Interaktion erlauben.

Der Prototyp basiert auf einer Softwarearchitektur, die eine Verarbeitung verschiedener Eingabeprotokolle erlaubt (z. B. TUIO und Signale von digitalen Stiften) und daraus Gesten erkennt. Die Architektur integriert außerdem eine Erkennungskomponente für gezeichnete Formen [38]. Mit ihrer Hilfe wird das digitale Skizzieren von Knoten und Kanten realisiert.

---

## 5.5 Evaluierung des Prototyps

Im vierten und letzten Schritt unseres Entwicklungsprozesses wurde der implementierte Prototyp evaluiert. Da die realisierten Techniken auf von Nutzern vorgeschlagenen Gesten basieren, war es das Ziel herauszufinden, in wie weit auf spontane Weise mit dem System interagiert werden kann und welche Techniken ohne Hilfestellung entdeckt werden würden. Wie oben beschrieben, wurden einige Gesten leicht modifiziert und ein interaktiver Rand um jeden Knoten gelegt. Daher bestand ein weiteres Ziel darin zu untersuchen, wie diese Veränderungen von Nutzern akzeptiert werden und ob das System ausreichend visuelles Feedback bietet.

In der Pilotstudie (genau wie in allen bisherigen Studien dieser Art [25, 26, 39]) wurden die vorgeschlagenen Gesten isoliert voneinander betrachtet. Im Gegensatz dazu wollten wir nun beobachten, wie diese Gesten in einem funktionierenden System während eines Arbeitsablaufs *in Kombination* angewendet werden.

### 5.5.1 Aufbau und Ablauf der Studie

Es wurde ein Within-Subject-Design<sup>3</sup> mit zwei Phasen angewendet. In der ersten Phase wurden die Teilnehmer gebeten, vier kurze Editier-Aufgaben spontan zu lösen (Erstellen, Löschen und Kopieren von Diagramm-Elementen, sowie Stricheln einer Kante), ohne vorherige Kenntnisse über das System zu besitzen. Wir wählten diesen Ansatz, um zu ermitteln, welche Techniken Nutzer spontan anwenden und wie viele Versuche sie aufwenden müssen, um diese zu finden.

Vor der zweiten Phase wurden den Probanden alle Techniken erklärt. Nach vier Trainingsaufgaben wurden die Teilnehmer dann gebeten, zwei Diagramme (je 18 Knoten und 17 Kanten) zu erstellen. Dabei konnten sie die vorhandenen Techniken frei verwenden. Auf

---

<sup>3</sup> Form der Aufteilung von Probanden in Studien, bei der jeder Teilnehmer alle Varianten der Studie testet, d. h. sämtliche Ausprägungen einer oder mehrerer unabhängiger Variablen.

diese Weise konnten wir ihr Verhalten während eines längeren Workflows beobachten. In beiden Phasen wurde den Teilnehmern ein Stift ausgehändigt, sie konnten jedoch wählen, welche der Modalitäten sie wann einsetzen wollten.

An der Studie nahmen zehn Probanden teil (zwei davon weiblich, alle Rechtshänder). Neun von ihnen waren Mitarbeiter der Informatik-Fakultät, der verbleibende Teilnehmer war Informatik-Student. Alle hatten grundlegende Kenntnisse über Node-Link-Diagramme, wie zum Beispiel UML oder Geschäftsprozess-Modelle.

Die Evaluation wurde am gleichen Tabletop wie die Pilotstudie durchgeführt (FTIR, Auflösung:  $1280 \times 800$ , Größe  $100 \times 80$  cm) und es wurde die gleiche elementare visuelle Notation von Node-Link-Diagrammen verwendet (rechteckige Knoten, gerichtete und ungerichtete Kanten). Alle Aktivitäten der Probanden wurden durch eine Videokamera über dem Tabletop aufgezeichnet. Darüber hinaus wurde jede Geste und deren Ergebnis – inkl. Modalität, Bildschirmkoordinaten und Zeitstempel – in einer Log-Datei erfasst.

Zur Auswertung wurde hauptsächlich das aufgenommene Videomaterial analysiert. Für die erste Phase zählten wir die Versuche, die benötigt wurden, um die Aufgabe zu erfüllen, die verwendeten Ansätze (*Skizzieren* oder *strukturiertes Editieren*) sowie die verwendeten Modalitäten. In der zweiten Phase zählten wir, wie oft eine bestimmte Geste mit welcher Modalität durchgeführt wurde. Darüber hinaus wurden die zur Erfüllung beider Aufgaben benötigten Zeiten gemessen.

### 5.5.2 Ergebnisse der ersten Phase

Alle Probanden konnten erfolgreich ein kleines Diagramm erstellen und Knoten selektieren. Dabei wurde häufig spontan auf den Skizzier-Ansatz zurückgegriffen (das Zeichnen und Einkringeln von Knoten), wobei die entsprechenden Gesten vorwiegend mit dem Stift ausgeführt wurden. Beim Kopieren von Knoten gaben fünf der Probanden auf. Sie versuchten hauptsächlich, ein Menü zu aktivieren, um diese Aufgabe durchzuführen. Beim Stricheln einer Kante gaben sechs Teilnehmer auf. Vier von ihnen wendeten zwar die richtige Geste an, führten sie aber zu schnell aus, so dass sie von unserem System nicht erkannt wurde. Das Löschen von Knoten wurde hauptsächlich durch das Ziehen der Knoten vom Tisch erreicht. Diese Funktionalität wurde oft durch Zufall entdeckt, zum Beispiel wenn ein Knoten aus Versehen erstellt wurde und der Proband ihn an den Rand des Displays schob.

Alle Probanden verstanden die Funktionalität des interaktiven Rands der Knoten relativ schnell. Nach mindestens vier Versuchen war es der Mehrheit möglich, Kanten einzufügen.

### 5.5.3 Ergebnisse der zweiten Phase

Die Mehrheit der Interaktionstechniken wurden schnell erlernt, und die Probanden verwendeten sie, ohne dass weitere Erklärungen notwendig waren. Eine Ausnahme war das Erzeugen von gerichteten Kanten durch Halten des Knotens und Ziehen der Kante von des-

sen interaktivem Rand (siehe Abb. 5.8, Aufgabe 2a). Drei Teilnehmer fragten noch einmal, wie diese Technik durchzuführen sei. Sie wendeten sie dann jedoch wiederholt an.

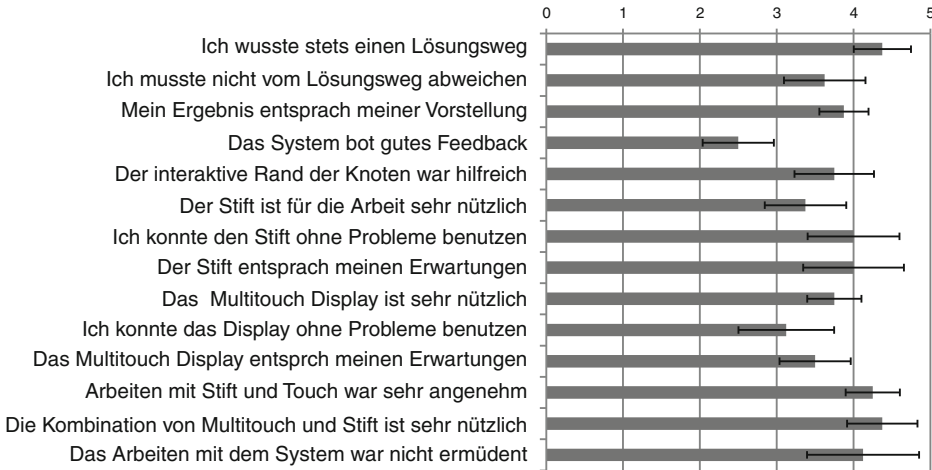
Alle Probanden skizzierten Elemente, wendeten aber auch strukturiertes Editieren an. So wurden zum Beispiel Knoten mit Standard-Größe meist durch Tippen erstellt und Knoten in anderen, gewünschten Größen skizziert. Manche Probanden skizzierten Knoten und skalierten sie dann auf die entsprechende Größe. Darüber hinaus fügten einige Teilnehmer ungerichtete Kanten durch Tippen ein und änderten sie zu gerichteten Kanten durch Zeichnen einer Pfeilspitze. Wir deuten dies als Bestätigung dafür, beide Ansätze gleichermaßen zu unterstützen.

Das Skizzieren von Diagramm-Elementen und das Gruppieren von Knoten durch Einkringeln wurde hauptsächlich mit dem Stift durchgeführt (in 86 % bzw. 61 % der Fälle). Im Gegensatz dazu wurden Aufgaben, die auf strukturiertem Editieren basieren, hauptsächlich durch Touch-Interaktion gelöst. In 92 % der Fälle wurden Knoten zum Beispiel mit dem Finger bewegt, und in 81 % der Fälle wurden Kanten durch Tippen mit dem Finger eingefügt. Bimanuale Interaktion wurde meist rein mit den Fingern ausgeführt, wobei die Nutzer den Stift zwischen die Finger der nicht-dominaten Hand klemmten. Kombinationen aus Touch- und Stift wurden hier kaum beobachtet. Das Kopieren von Knoten wurde zum Beispiel 82 Mal angewendet, aber nur in einem Fall wurde es mit einer Kombination aus Finger und Stift durchgeführt.

Wir konnten auch beobachten, dass einige Probanden das Diagramm relativ stark verkleinerten bzw. weit herauszoomten. Vier Studienteilnehmer taten dies schon zu Beginn. Weitere vier Probanden verringerten die Zoom-Stufe, nachdem sie den ersten Teil-Graph erstellt hatten. Sie vergrößerten die Ansicht jedoch nicht wieder und arbeiteten mit relativ kleinen Knoten weiter, obwohl es ihnen zum Beispiel schwer fiel, den Rand eines Knotens exakt zu treffen. Die Probanden wechselten auch kaum zur Stift-Eingabe, um etwa eine höhere Präzision zu erlangen.

#### 5.5.4 Nutzerzufriedenheit

Wie die Ergebnisse des Usability-Fragebogens zeigen, waren die Teilnehmer mit der Effektivität und Effizienz des Systems im Allgemeinen zufrieden (Abb. 5.10). Insbesondere wurde der interaktive Rand der Knoten gut angenommen. Das Feedback des Systems wurde jedoch weniger gut bewertet. Wie oben erwähnt, arbeiteten die Probanden oft mit kleinen Knoten, was die Interaktion durch das Fat-Finger-Problem erschwerte. Dies ist sicherlich ein Grund dafür, dass Stifteingabe im Vergleich zu Touch-Interaktion besser bewertet wurde. Insgesamt beurteilten die Probanden die Kombination aus Stift und Multi-Touch als nützlich. Darüber hinaus scheint die Arbeit mit dem Tabletop nicht körperlich anstrengend zu sein.



**Abb. 5.10** Nutzerzufriedenheit bzgl. des prototypischen Diagramm-Editors (Mittelwerte der 5-Punkt Likert Skalen, 0 = „Ich stimme nicht zu“, 4 = „Ich stimme völlig zu“)

## 5.6 Diskussion

Im Folgenden soll der in den vorherigen Abschnitten beschriebene Entwicklungsprozess noch einmal zusammengefasst sowie die Charakteristiken und wichtigen Aspekte unseres Ansatzes diskutiert werden.

### 5.6.1 Die Pilotstudie

Im Gegensatz zur klassischen Herangehensweise, bei der Usability-Experten Interaktionstechniken entwerfen, implementieren und testen, wurde hier ein Nutzer-zentrierter Designansatz gewählt. Der erste Schritt bestand aus einer Pilotstudie, während derer Nutzer Gesten zu bestimmten Aufgaben vorschlugen. Sicherlich waren einige der vorgeschlagenen Gesten zu erwarten und wären vermutlich so auch von Experten im Bereich Mensch-Computer-Interaktion entwickelt worden (z. B. das Zoomen mittels Pinch-Geste). Wir sehen diesen Ansatz dennoch als wertvoll an. Er kann nicht nur dazu genutzt werden, erwartete Gesten zu bestätigen. Wir konnten darüber hinaus auch einige unerwartete Gesten und Herangehensweisen beobachten (z. B. Löschen von Knoten, indem sie vom Display gezogen wurden, oder die „Rake“-Geste für das Erstellen einer gestrichelten Kante).

Darüber hinaus machten einige Probanden Gesten in der Luft über dem Display. Diese sind interessant für weitere Forschungen (z. B. [36]). Die Pilotstudie zeigte auch, dass Nutzer spontan Gesten unterschiedlicher Natur vorschlugen. Das Zeichnen eines Knotens oder einer Kante ist eine *physische* Geste, während das Löschen eines Elements durch Wischen

oder das Erstellen einer gestrichelten Kante durch eine „Rake“-Geste eher *metaphorischer* Natur ist. Darüber hinaus wurden auch *abstrakte* Gesten durchgeführt, insbesondere für eher abstrakte Aufgaben ohne Analogie in der Realität, wie das Kopieren eines Knotens. Dafür wurde der Knoten mit einem Finger gehalten und die Kopie(n) mit einem anderen Finger von ihm „heruntergezogen“. Da es für diese Art von Aufgaben keine offensichtlichen realen Entsprechungen oder metaphorischen Analogien gibt, erfordert das Design entsprechender Gesten besondere Aufmerksamkeit.

**Einhandige Gesten und beidhändige Interaktion** Einhand-Interaktion wurde für die meisten Aufgaben klar bevorzugt. Dies gilt sowohl für die spontane Wahl der Modalitäten als auch für die Bewertungen auf dem Usability Fragebogen. Ausnahmen gab es nur beim Skalieren von Knoten und beim Zoomen von Diagrammen. Hier wurde hauptsächlich die bereits in kommerziellen Produkten weit verbreitete Pinch-Geste [22, 29] vorgeschlagen. Außerdem erhielt Zweihand-Interaktion für das Selektieren von Knoten-Gruppen relativ gute Bewertungen. Dies ist sicherlich darauf zurückzuführen, dass das Antippen mehrerer Knoten mit zwei Händen schneller zu bewerkstelligen ist.

**Stift- und Touch-Interaktion** Für die meisten der gestellten Aufgaben wurde Touch- und Stift-Interaktion spontan bevorzugt. Insbesondere bzgl. der Erstellung von Diagramm-Elementen erwarteten wir, dass mehr Probanden explizit zwischen Finger und Stift unterscheiden würden, indem sie beispielsweise mit dem Finger antippen und mit dem Stift skizzieren. Dies war aber kaum der Fall. Wenn präzisere Eingaben erforderlich werden – was bei unserer Studie nicht der Fall war – ist zu erwarten, dass der Stift häufiger gegenüber der unpräzisen Fingereingabe bevorzugt wird. Ferner erhielten die Probanden bei dieser Studie kein visuelles Feedback vom System, was die Präferenz der Modalität ebenfalls beeinflusst, wie es die anschließende Evaluation der implementierten Techniken gezeigt hat. Wir beobachteten kaum Situationen, in denen spontan die nicht-dominante Hand genutzt wurde, um Stifteingaben zu unterstützen. Einen Grund sehen wir darin, dass die meisten Menschen durch Einhand-Interaktion auf Whiteboards und Papier konditioniert sind. Dennoch beobachteten wir mehrere Situationen, in denen die nicht-dominante Hand für das Umschalten in einen anderen Modus verwendet wurde, indem sie auf den Hintergrund gelegt wurde. Dieses Vorgehen ist ein vielversprechender Weg, um bestehende Konflikte innerhalb eines Gesten-Sets zu lösen. Des Weiteren betrachten wir Touch/Stift-Kombinationen als weiterführende Experten-Techniken, die zum Beispiel bei der manuellen Erzeugung von Diagramm-Layouts zum Einsatz kommen können [11, 12].

**Skizzieren und strukturiertes Editieren** Neben konkreten Gesten konnten während der Studie auch einige grundsätzliche Herangehensweisen beobachtet werden. *Strukturiertes Editieren*, wie von mausbasierten Tools bekannt, und *Skizzieren* wurden, wenn möglich, gleichermaßen vorgeschlagen. Dies ermöglicht Nutzern sowohl spontanes Zeichnen als auch das Erstellen von Modellen auf der Grundlage formaler Notationen. Wir empfehlen daher, möglichst vielseitige Gesten einzusetzen.

### 5.6.2 Analyse und Verfeinerung der vorgeschlagenen Gesten

Um eine Sammlung der vielversprechendsten Gesten zu bilden, wurde bewusst keine einfache Mehrheitsentscheidung durchgeführt. Obwohl die meisten Gesten der Sammlung diejenigen sind, die am häufigsten vorgeschlagen wurden, gibt es auch Ausnahmen. Für einige Aufgaben wurde eine Geste in die Sammlung aufgenommen, die weniger gut bewertet bzw. nur von einzelnen Teilnehmern vorgeschlagen wurde. Dies diente dazu, die grundlegenden Herangehensweisen des Skizzierens und strukturierten Editierens gleichermaßen zu berücksichtigen. Darüber hinaus war es in einigen Fällen notwendig, von den vorgeschlagenen Gesten zu abstrahieren. Zum Beispiel wurden für das Kopieren von Knoten viele unterschiedliche Gesten vorgeschlagen. Wir abstrahierten von diesen Vorschlägen und entschieden uns dafür, einen Finger zum Halten des Originals und einen weiteren für das Herunterziehen der Kopie zu verwenden. Viele der Probanden schlugen diesen Ansatz im Prinzip vor, führten die Geste aber mit mehreren Fingern oder der ganzen Hand durch.

Eine häufig vorgeschlagene und gut bewertete Geste lässt auf eine breite Akzeptanz schließen. Allerdings bedeutet dies nicht zwangsläufig, dass auf eine Geste verzichtet werden sollte, wenn sie von nur wenigen Probanden vorgeschlagen wird. Für andere potentielle Nutzer könnte sie ebenso sinnvoll und nützlich sein. Andere Studienteilnehmer haben aber vielleicht während der Studie einfach nicht daran gedacht, sie vorzuschlagen. Dies ist vergleichbar mit der von Greenberg und Buxton beschriebenen Problematik [14]. Aufgrund zu früher Usability-Evaluierung steigt das Risiko, dass wertvolle Ideen und Ansätze aus dem Designprozess herausfallen können. Daher schlagen wir für die Analyse der Vorschläge vor, eher eine Perspektive des Interaction-Designs als eine stark an der Statistik ausgerichtete Sicht einzunehmen. Dies geht einher mit den Empfehlungen von Hinckley et al. [19]. Sie betonen, dass Nutzer keine Designer sind und daher beim Vorschlagen von Techniken Vorsicht geboten ist.

Um die Konflikte innerhalb der gesammelten Gesten zu lösen, wurden weitere Beobachtungen, wie zum Beispiel das Verhalten und die Kommentare der Probanden, mit berücksichtigt. Aufbauend darauf konnten Designziele für die Weiterentwicklung und allgemeine Lösungsansätze für die Auflösung von Konflikten skizziert werden (siehe Abschn. 5.4). Wir fügten einen interaktiven Rand zu jedem Knoten hinzu, da mehrere Probanden explizit zwischen dem Rand und dem Inneren eines Knotens unterschieden. Dieser Ansatz erlaubte es, die bestehenden Mehrdeutigkeiten zu lösen, ohne weitere Gesten einzufügen. Stattdessen wird die gleiche Geste für verschiedene Aufgaben, entsprechend der Empfehlung von Wu et al. [40], wiederverwendet.

### 5.6.3 Evaluierung des Prototyps

Die Evaluierung unseres Prototyps zeigte, dass Anfänger ohne weiteres Vorwissen in der Lage sind, mit dem System zu arbeiten. Dabei wurden Elemente vor allem skizziert und

Techniken angewendet, die Mausinteraktion nachahmen (z. B. Verschieben von Knoten). Andere Gesten, zum Beispiel für das Kopieren von Knoten oder zum Erzeugen einer gestrichelten Kante, wurden kaum spontan gefunden. Allerdings wurden alle Techniken nach Erklärung und kurzem Training schnell verstanden, und die Probanden erinnerten sich daran. An dieser Stelle ist es wichtig zu erwähnen, dass das Ziel nicht darin bestand, ein vollständig intuitiv zu benutzendes System (*Walk-up-and-use-System*) zu entwickeln. Wir hielten es für ausreichend, dass Gelegenheitsnutzer grundlegende Aufgaben, wie das Erstellen, Positionieren und Löschen von Diagramm-Elementen, spontan erreichen können. Die übrigen Techniken sind vor allem Shortcut-Gesten für komplexere Operationen. Sie sind Experten vorbehalten und müssen gelernt und trainiert werden.

**Gesten-Variationen** Während der Evaluation konnten wir beobachten, dass die gleiche Geste oft auf verschiedene Weise ausgeführt wurde. Variationen traten vor allem in Bezug auf Geschwindigkeit und Präzision auf. Da in der Pilotstudie Gesten isoliert voneinander (eine Geste für jede Aufgabe) und ohne Rückmeldung vom System vorgeschlagen wurden, war ihre Ausführung recht langsam und präzise. Während der Verwendung des Prototyps führten die Probanden jedoch zusammengesetzte Aufgaben innerhalb eines Workflows durch. Daher wurden die Gesten häufig schneller und ungenauer durchgeführt. Während zum Beispiel das Positionieren von Knoten normalerweise eher sorgfältig ausgeführt wurde, wurden beim Löschen Knoten oft sehr schnell zum Rand des Displays befördert bzw. weggeschleudert, bevor der Rand des Displays erreicht wurde.

In einer Pilotstudie mit Nutzern, die Gesten vorschlagen, kann man sehr gut beobachten, *welche Arten* von Gesten bevorzugt werden. Allerdings ist dadurch nicht unbedingt zu sehen, *auf welche Weise* eine Geste ausgeführt wird (z. B. in Bezug auf *Geschwindigkeit* und *Präzision*). Obwohl derselbe Ansatz zugrunde liegt (z. B. das Löschen von Elementen durch Herunterziehen vom Display), wird die entsprechende Interaktion je nach Kontext der Aufgabe auf unterschiedliche Weise durchgeführt. Gesten isoliert voneinander zu betrachten – wie es in den bisherigen Studien getan wurde – ist daher nicht ausreichend, um einfach zu bedienende Anwendungen zu erstellen.

**Trennung der Modalitäten** Im Gegensatz zur Pilotstudie konnten wir während der Evaluation beobachten, wie Nutzer spontan zwischen Multi-Touch und Stift-Interaktion differenzierten. Der Stift wurde vorrangig zum *Skizzieren* von Diagramm-Elementen oder zum Einkringeln von Knoten eingesetzt. Touch-Interaktion wurde dagegen hauptsächlich für Aufgaben verwendet, die auf *strukturiertem Editieren* basieren. Dies beinhaltet auch das bimanuale Kopieren von Knoten oder Teilgraphen, was im Gegensatz zu den Techniken von Hinckley et al. [20] steht, die das Kopieren mit einer Kombination aus Touch und Stift realisierten. Gegen diesen Ansatz spricht auch ein ergonomischer Grund. Wenn Kopien nur mit dem Stift erzeugt werden können, der in der dominanten Hand gehalten wird, dann kann die Kopie nur auf einer Seite bequem positioniert werden (bei Rechtshändern z. B. auf der rechten). Andernfalls müssten die Arme überkreuzt werden.

In Bezug auf das Durchstreichen von Diagramm-Elementen sowie das Erzeugen gestrichelter Kanten konnten wir keine Präferenzen hinsichtlich einer bestimmten Modalität



feststellen. Wir nehmen an, dass der Grund dafür in der Ähnlichkeit dieser Aktionen zur physischen Interaktion mit Papier oder Whiteboards zu suchen ist. Skizzen auf Papier können mit dem Stift durchgestrichen bzw. auf dem Whiteboard mit den Fingern weggewischt werden.

#### 5.6.4 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurde ein Entwicklungsprozess beschrieben, um Interaktionstechniken für berührungsempfindliche Displays zu entwerfen und zu realisieren. Damit wurde ein Beitrag zur Beantwortung der Frage geleistet, wie konkrete Interaktionstechniken beschaffen sein müssen und wie man effektive Gesten für bestimmte Aufgaben und Domänen entwickeln kann. Das Editieren von Node-Link-Diagrammen diente hier lediglich als beispielhafte Anwendungsdomäne. Im Gegensatz zu bisherigen Arbeiten wurde nicht nur Multi-Touch-Interaktion allein, sondern auch Stift-Eingabe als ergänzende Modalität berücksichtigt. Letztere eignet sich besonders, um Diagramm-Elemente wie auf Papier oder Whiteboards zu skizzieren. Die Eingabe über Fingerberührung kann hingegen für Navigationsaufgaben und strukturiertes Editieren – wie aus digitalen Diagramm-Tools bekannt – verwendet werden. Beide Modalitäten können sich aber auch sinnvoll ergänzen, zum Beispiel, um schnelle implizite Modus-Wechsel zu gewährleisten, ohne Menüs aufzurufen.

Der in diesem Kapitel dargestellte grundsätzliche Entwicklungsprozess beginnt mit einer Pilotstudie, in der Probanden Gesten für grundlegende Editier-Aufgaben vorschlagen. Auf Basis dieser Ergebnisse werden dann Interaktionstechniken entwickelt und verfeinert, um dann in einem Prototyp implementiert zu werden. Dieser wird abschließend evaluiert und kann dann in ein Produktivsystem überführt werden. Neben den konkreten Interaktionstechniken und deren Bewertung wurden in diesem Kapitel auch die Vor- und Nachteile dieses Entwicklungsprozesses und der kombinierten Eingabe durch Multi-Touch und Stift diskutiert.

---

## Literatur

1. Anoto Group AB: Digital Pen Technology. <http://www.anoto.com/>
2. Brandl, P., Forlines, C., Wigdor, D., Haller, M., Shen, C.: Combining and measuring the benefits of bimanual pen and direct-touch interaction on horizontal interfaces. In: AVI '08 Proceedings of the Working Conference on Advanced Visual Interfaces, S. 154–161. ACM, New York (2008)
3. Chen, Q., Grundy, J., Hosking, J.: An e-whiteboard application to support early design-stage sketching of UML diagrams. In: Proceedings of the 2003 IEEE Symposium on Human Centric Computing Languages and Environments, S. 219–226. IEEE Computer Society, New York (2003)

4. Cherubini, M., Venolia, G., DeLine, R., Ko, A.J.: Let's go to the whiteboard: how and why software developers use drawings. In: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '07, S. 557–566. ACM, New York (2007)
5. Damm, C.H., Hansen, K.M., Thomsen, M.: Tool support for cooperative object-oriented design: gesture based modelling on an electronic whiteboard. In: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '00, S. 518–525. ACM, New York (2000)
6. Dekel, U., Herbsleb, J.D.: Notation and representation in collaborative object-oriented design: an observational study. *SIGPLAN Not.* **42**(10), 261–280 (2007)
7. Dwyer, T., Lee, B., Fisher, D., Quinn, K.I., Isenberg, P., Robertson, G., North, C.: A comparison of user-generated and automatic graph layouts. *IEEE Trans. Visual Comput. Graph.* **15**, 961–968 (2009)
8. Epps, J., Lichman, S., Wu, M.: A study of hand shape use in tabletop gesture interaction. In: Proceedings of Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, CHI '06, S. 748–753. ACM, New York (2006)
9. Frisch, M., Heydekorn, J., Dachsel, R.: Diagram editing on interactive displays using multi-touch and pen gestures. In: Proceedings of the 6th International Conference on Diagrammatic Representation and Inference, Diagrams'10, S. 182–196. Springer, Berlin (2010)
10. Frisch, M., Heydekorn, J., Dachsel, R.: Investigating multi-touch and pen gestures for diagram editing on interactive surfaces. In: Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces, ITS '09, S. 149–156. ACM, New York (2009)
11. Frisch, M., Kleinau, S., Langner, R., Dachsel, R.: Grids & guides: multi-touch layout and alignment tools. In: Proceedings of the 2011 Annual Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '11, S.1615–1618. ACM, New York (2011)
12. Frisch, M., Langner, R., Dachsel, R.: NEAT: a set of flexible tools and gestures for layout tasks on interactive displays. In: Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces (ITS 2011), S. 1–10. ACM, Kobe (2011)
13. Frisch, M.: Visualization and Interaction Techniques for Node-link Diagram Editing and Exploration. Dr. Hut Verlag, München (2012)
14. Greenberg, S., Buxton, B.: Usability evaluation considered harmful (some of the time). In: Proceedings of the Twenty-Sixth Annual SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '08, S. 111–120. ACM, New York (2008)
15. Guiard, Y.: Asymmetric Division of Labor in Human Skilled Bimanual Action: the Kinematic Chain as a Model (1987)
16. Hammond, T., Davis, R.: Tahuti: a geometrical sketch recognition system for UML class diagrams. In: ACM SIGGRAPH 2006 Courses, SIGGRAPH '06. ACM, New York (2006)
17. Han, J.: Low-cost multi-touch sensing through frustrated total internal reflection. In: Proceedings of the 18th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '05, S. 115–118. ACM, New York (2005)
18. Heydekorn, J., Frisch, M., Dachsel, R.: Evaluating a user-elicited gesture set for interactive displays. In: Proceedings of Mensch und Computer 2011, S. 191–200. Oldenbourg Publishing, München (2011)
19. Hinckley, K., Yatani, K., Pahud, M., Coddington, N., Rodenhouse, J., Wilson, A., Benko, H., Buxton, B.: Manual deskterity: an exploration of simultaneous pen + touch direct input. In: Proceedings of the 28th of the International Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, CHI EA '10, S. 2793–2802. ACM, New York (2010)
20. Hinckley, K., Yatani, K., Pahud, M., Coddington, N., Rodenhouse, J., Wilson, A., Benko, H., Buxton, B.: Pen + touch = new tools. In: Proceedings of the 23rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '10, S. 27–36. ACM, New York (2010)

21. Isenberg, P., Tang, A., Carpendale, S.: An exploratory study of visual information analysis. In: Proceedings of the 26th SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '08, S. 1217–1226. ACM, New York (2008)
22. Krueger, M.W., Gionfriddo, T., Hinrichsen, K.: Videoplace: an artificial reality. In: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '85, S. 35–40. ACM, New York (1985)
23. Leitner, J., Powell, J., Brandl, P., Seifried, T., Haller, M., Dorray, B., To, P.: Flux: a tilting multi-touch and pen based surface. In: Proceedings of the 27th International Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, CHI '09, S. 3211–3216. ACM, New York (2009)
24. Micire, M., Desai, M., Courtemanche, A., Tsui, K.M., Yanco, H.A.: Analysis of natural gestures for controlling robot teams on multi-touch tabletop surfaces. In: Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces, ITS '09, S. 41–48. ACM, New York (2009)
25. Morris, M.R., Wobbrock, J.O., Wilson, A.D.: Understanding users' preferences for surface gestures. In: Proceedings of Graphics Interface 2010, GI '10, S. 261–268. Canadian Information Processing Society, Toronto (2010)
26. Nielsen, M., Störring, M., Moeslund, T.B., Granum, E.: A procedure for developing intuitive and ergonomic gesture interfaces for HCL. *Gesture-Based Communication in Human-Computer Interaction. Lecture Notes in Computer Science*, Bd. 2915, S. 105–106. Springer, Heidelberg (2004)
27. Perceptive Pixel by Microsoft. <http://www.microsoft.com/office/perceptivepixel/>
28. Plimmer, B., Freeman, I.: A toolkit approach to sketched diagram recognition. In: Proceedings of the 21st British HCI Group Annual Conference on People and Computers: HCI but not as we know it Bd. 1, - BCS-HCI '07, S. 205–213. British Computer Society, Swinton (2007)
29. Rekimoto, J.: SmartSkin: an infrastructure for freehand manipulation on interactive surfaces. In: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '02, S. 113–120. ACM, New York (2002)
30. Ringel, M., Ryall, K., Shen, C., Forlines, C., Vernier, F.: Release, relocate, reorient, resize: fluid techniques for document sharing on multi-user interactive tables. In: Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, CHI '04, S. 1441–1444. ACM, New York (2004)
31. Schmidt, S., Nacenta, M.A., Dachsel, R., Scarpendale, S.C.: A set of multi-touch graph interaction techniques. In: ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces, ITS '10, S. 113–116. ACM, New York (2010)
32. Systems Biology Graphical Notation (SBGN): A Visual Notation for Network Diagrams in Biology. <http://www.sbgn.org>
33. Terrenghi, L., Kirk, D., Sellen, A., Izadi, S.: Affordances for manipulation of physical versus digital media on interactive surfaces. In: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '07, S. 1157–1166. ACM, New York (2007)
34. Wacom: Graphic Tablets and Wacom Inkling. [www.wacom.com](http://www.wacom.com)
35. Walny, J., Jagoda, W., Jonathan, H., Haber, J., Dörk, M., Sillito, J., Cheelagh, S.: Follow that Sketch: Lifecycles of diagrams and sketches in software development. In: IEEE International Workshop on Visualizing Software for Understanding and Analysis (2011)
36. Wilson, A.D., Benko, H.: Combining multiple depth cameras and projectors for interactions on, above and between surfaces. In: Proceedings of the 23rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '10, S. 273–282. ACM, New York (2010)
37. Wilson, A., Izadi, S., Hilliges, O., Garcia-Mendoza A., Kirk, D.: Bringing physics to the surface. In: Proceedings of the 21st Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '08, S. 67–76. ACM, New York (2008)

38. Wobbrock, J.O., Wilson, A.D., Li, Y.: Gestures without libraries, toolkits or training: a \$ recognizer for user interface prototypes. In: Proceedings of the 20th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '07, S. 159–168. ACM, New York (2007)
39. Wobbrock, J.O., Morris, M.R., Wilson, A.D.: User-defined gestures for surface computing. In: Proceedings of the 27th International Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '09, S. 1083–1092. ACM, New York (2009)
40. Wu, M., Shen, C., Ryall, K., Forlines, C., Balakrishnan, R.: Gesture registration, relaxation, and reuse for multi-point direct-touch surfaces. In: Proceedings of the First IEEE International Workshop on Horizontal Interactive Human-Computer Systems, TABLETOP '06, S. 185–192. Computer Society IEEE, Washington (2006)
41. Zeleznik, R., Bragdon, A., Adeputra, F., Ko, H.: Hands-on math: a page-based multi-touch and pen desktop for technical work and problem solving. In: Proceedings of the 23rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '10, S. 17–26. ACM, New York (2010)
42. Zeleznik, R., Bragdon, A., Liu, C.C., Forsberg, A.: Lineogrammer: creating diagrams by drawing. In: Proceedings of the 21st Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, UIST '08, S. 161–170. ACM, New York (2008)



<http://multi-touch-buch.de/inhalt/kapitel5>