

# **Diss**

Stefan Oppl

14. Juni 2009



# Inhaltsübersicht



# Inhaltsverzeichnis

<b>I. Einführung</b>	<b>I</b>
<b>I. Grundlagen</b>	<b>3</b>
<b>2. Articulation Work</b>	<b>7</b>
2.1. Begriffsbestimmung . . . . .	7
2.2. Kontext . . . . .	9
2.3. Arten von Articulation Work . . . . .	9
2.4. Systematisierung von Articulation Work . . . . .	10
2.4.1. Systematik nach Fjuk, Smørdal und Nurminen . . . . .	11
2.4.2. Systematik nach Hampson und Junor . . . . .	11
2.5. Unterstützung von Articulation Work . . . . .	11
2.5.1. Papertitel / Titel des Forschungsprojekts . . . . .	13
2.5.2. Work and the Division of Labor . . . . .	13
2.5.3. Gegenüberstellung und Zusammenfassung . . . . .	14
2.6. Fazit . . . . .	14
<b>3. Mentale Modelle</b>	<b>17</b>
3.1. Begriffsbestimmung . . . . .	17
3.1.1. Mentale Modelle nach Johnson-Laird . . . . .	17
3.1.2. Mentale Modelle nach Norman . . . . .	17
3.1.3. Mentale Modelle nach Senge . . . . .	19
3.2. Veränderung mentaler Modelle . . . . .	19
3.3. Mentale Modelle und Articulation Work . . . . .	19
<b>4. Externalisierung mentaler Modelle</b>	<b>21</b>
4.1. Concept Mapping . . . . .	21
4.2. Strukturlegetechniken . . . . .	21
4.3. Herausforderungen bei der Anwendung . . . . .	21
4.3.1. Kollaborative Anwendbarkeit . . . . .	21
4.3.2. Nachhaltige Verwendung der Information . . . . .	21
4.3.3. Zusammenführung . . . . .	21

<b>II. Unterstützung</b>	<b>23</b>
<b>5. Methodik</b>	<b>27</b>
<b>6. Anforderungen an ein Werkzeug</b>	<b>29</b>
<b>7. Grundlagen der Implementierung</b>	<b>31</b>
7.1. Historische Entwicklung von Tangible Interfaces . . . . .	32
7.1.1. Ubiquitous Computing . . . . .	32
7.1.2. Augmented Reality . . . . .	32
7.1.3. Metaphern . . . . .	32
7.1.4. Tangible Output . . . . .	32
7.2. Konzeptualisierung und Klassifikation von Tangible Interfaces . . . .	32
7.2.1. Bricks . . . . .	34
7.2.2. Graspable User Interfaces . . . . .	36
7.2.3. Tangible Bits . . . . .	38
7.2.4. Containers, Tokens und Tools . . . . .	40
7.2.5. Tangible Objects Meaning . . . . .	42
7.2.6. Das MCRpd Interaktions-Modell . . . . .	43
7.2.7. Tokens und Constraints nach Ullmer . . . . .	46
7.2.8. Degree of Coherence . . . . .	48
7.2.9. Tokens und Constraints nach Shaer et al. . . . .	51
7.2.10. Kategorien von TUI-Anwendungen . . . . .	52
7.2.11. Taxonomie nach Fishkin . . . . .	53
7.2.12. Mixed Reality . . . . .	56
7.2.13. Tangible Bits: Beyond Pixels . . . . .	56
7.2.14. Zusammenfassung . . . . .	60
7.3. Tangible Interfaces in kooperativer Verwendung . . . . .	65
7.4. Tabletop Interfaces . . . . .	66
7.4.1. Historische Entwicklung . . . . .	66
7.5. Tangible Interfaces zur Erstellung diagrammatische Modelle . . . . .	66
7.5.1. Aktuelle verwandte Ansätze . . . . .	66
<b>8. Eingabe und Interpretation</b>	<b>67</b>
8.1. Möglichkeiten zur Erfassung von Benutzerinteraktion . . . . .	67
8.1.1. In Frage kommende technologische Ansätze . . . . .	68
8.1.2. In Frage kommende Frameworks . . . . .	75
8.1.3. Technologieentscheidung . . . . .	84
8.2. Konzeption und Umsetzung der Hardwarekomponenten . . . . .	90
8.2.1. Überblick . . . . .	91
8.2.2. Tokens und Input-Werkzeuge . . . . .	92

8.2.3.	Input auf der Tischoberfläche . . . . .	102
8.3.	Benutzerinteraktion mit dem Werkzeug . . . . .	104
8.3.1.	Hinzufügen und Verändern von Modellelementen . . . . .	105
8.3.2.	Benennen von Modellelementen . . . . .	106
8.3.3.	Verbinden von Modellelementen . . . . .	107
8.3.4.	Löschen von Elementen und Verbindungen . . . . .	109
8.3.5.	Einbettung von Zusatzinformation . . . . .	109
8.3.6.	Kontrolle der Modellierungshistorie . . . . .	111
8.4.	Erfassung der Benutzerinteraktion durch Software . . . . .	113
8.4.1.	Interpretation der Rohdaten . . . . .	113
8.4.2.	Stabilisierung der Erkennungsleistung . . . . .	116
8.4.3.	Erkennung von Markierungen und Verbindungen . . . . .	121
8.4.4.	Erkennung von geöffneten Tokens . . . . .	123
8.4.5.	Benennung von Modellelementen . . . . .	126
8.4.6.	Festlegung der Bedeutung von Modellelementen . . . . .	128
8.4.7.	Tracking des Modellzustandes . . . . .	128
8.4.8.	Verteilung des Modellzustandes . . . . .	131
8.5.	Zusammenfassung . . . . .	131
<b>9.</b>	<b>Ausgabe</b>	<b>133</b>
9.1.	Auszugebende Information . . . . .	133
9.2.	Technologische Grundlage der Ausgabe . . . . .	134
9.2.1.	Ansätze zur kohärenten Ausgabe . . . . .	135
9.2.2.	Ansätze zur entkoppelten Ausgabe . . . . .	138
9.2.3.	Technologie-Entscheidung . . . . .	140
9.2.4.	Frameworks zur Ausgabe . . . . .	142
9.3.	Ausgabe von Information . . . . .	145
9.3.1.	Konzept . . . . .	145
9.3.2.	Architektur . . . . .	147
9.3.3.	Ausgabe von Information zum Modell . . . . .	148
9.3.4.	Ausgabe zur Kontrolle des Systems . . . . .	153
9.4.	Umsetzung der Ausgabe mit Software . . . . .	158
9.4.1.	Ausgabe des Modellzustands . . . . .	160
9.4.2.	Ausgabe der Modellierungshistorie . . . . .	162
9.4.3.	Umsetzung der Wiederherstellungsunterstützung . . . . .	162
9.5.	Zusammenfassung . . . . .	164
<b>10.</b>	<b>Persistierung</b>	<b>167</b>
10.1.	Möglichkeiten der Persistenzsicherung . . . . .	167
10.2.	Topic Maps . . . . .	168
10.2.1.	Topics, Subjects, Topic Names und Variants . . . . .	169

10.2.2.	Associations und Roles . . . . .	172
10.2.3.	Occurrences und Datatypes . . . . .	173
10.2.4.	Metamodellierung in Topic Maps . . . . .	173
10.2.5.	Statements und Scopes . . . . .	177
10.2.6.	Reification . . . . .	178
10.2.7.	Merging . . . . .	179
10.3.	Abbildung von Modellen auf Topic Maps . . . . .	179
10.3.1.	Grundlegende Abbildung . . . . .	180
10.3.2.	Abbildung des Metamodells . . . . .	181
10.3.3.	Abgrenzung von Submodellen . . . . .	184
10.3.4.	Flexibilisierung der Abbildung . . . . .	186
10.4.	Technische Umsetzung der Persistierung von Modellen . . . . .	187
10.4.1.	Topic Map Engine . . . . .	187
10.4.2.	Dynamische Metamodelle . . . . .	190
10.4.3.	Persistierung . . . . .	190
10.5.	Export graphischer Repräsentationen . . . . .	190
10.5.1.	Ausgabeformen . . . . .	190
10.5.2.	Technische Umsetzung des graphischen Exports . . . . .	194
10.6.	Zusammenfassung . . . . .	194

### **III. Evaluierung** **195**

#### **1 I. Konzeptionelle Einordnung** **199**

II.1.	Einordnung in den Bricks-Designraum . . . . .	199
II.1.1.	Abbildung . . . . .	200
II.1.2.	Bewertung . . . . .	201
II.2.	Bestimmung der Eigenschaften des Graspable User Interfaces Ansatz	202
II.2.1.	Abbildung . . . . .	202
II.2.2.	Bewertung . . . . .	203
II.3.	Betrachtung im Lichte des Tangible Bits Ansatzes . . . . .	203
II.3.1.	Abbildung . . . . .	203
II.3.2.	Bewertung . . . . .	204
II.4.	Einordnung in das Ordnungssystem von Holmquist et al. . . . .	204
II.4.1.	Abbildung . . . . .	205
II.4.2.	Bewertung . . . . .	205
II.5.	Einordnung in das Object-Meaning-Kontinuum . . . . .	206
II.5.1.	Abbildung . . . . .	206
II.5.2.	Bewertung . . . . .	207
II.6.	Betrachtung im Lichte des MCRpd-Modells . . . . .	207
II.6.1.	Abbildung . . . . .	208



II.6.2. Bewertung . . . . .	209
II.7. Einordnung in den Tokens+Constraints Kontext . . . . .	209
II.7.1. Einordnung . . . . .	209
II.7.2. Bewertung . . . . .	211
II.8. Einordnung in das Framework nach Koleva et al. . . . .	211
II.8.1. Abbildung . . . . .	211
II.8.2. Bewertung . . . . .	213
II.9. Spezifikation des TAC-Schemas nach Shaer et al. . . . .	214
II.9.1. Abbildung . . . . .	214
II.9.2. Bewertung . . . . .	216
II.10. Einordnung in die Kategorien von TUI-Anwendungen . . . . .	217
II.10.1. Abbildung . . . . .	217
II.10.2. Bewertung . . . . .	217
II.11. Einordnung in die Taxonomie von Fishkin . . . . .	217
II.11.1. Abbildung . . . . .	218
II.11.2. Bewertung . . . . .	220
II.12. Betrachtung im Lichte der Retrospektive von Ishii . . . . .	221
II.12.1. Einordnung . . . . .	221
II.12.2. Bewertung . . . . .	222
II.13. Zusammenfassung . . . . .	222
II.13.1. Eignung der konzeptionellen Ansätze zur Beschreibung . . .	222
II.13.2. Verbesserungspotential für das Werkzeug . . . . .	222
<b>12. Überblick über die empirische Untersuchung</b>	<b>223</b>
12.1. Untersuchungsaspekte . . . . .	223
12.1.1. Evaluierung des Werkzeugs . . . . .	224
12.1.2. Evaluierung der Modellrepräsentationen . . . . .	225
12.1.3. Evaluierung der Articulation Work . . . . .	226
12.2. Globales Untersuchungsdesign . . . . .	227
12.2.1. Block 1: Technische Evaluierung . . . . .	228
12.2.2. Block 2: Aushandlung von Zusammenarbeit 1 . . . . .	229
12.2.3. Block 3: Concept Mapping 1 . . . . .	231
12.2.4. Block 4: Aushandlung von Zusammenarbeit 2 . . . . .	234
12.2.5. Block 5: Concept Mapping 2 . . . . .	235
12.3. Eingesetzte Werkzeuge und Verfahren . . . . .	237
12.3.1. Werkzeuge . . . . .	237
12.3.2. Korrelationstests . . . . .	237
12.3.3. Signifikanztests . . . . .	237
12.4. Zusammenfassung . . . . .	237
<b>13. Evaluierung der Verwendbarkeit des Werkzeugs</b>	<b>239</b>

13.1. Hypothesen . . . . .	239
13.1.1. Konzeptionell begründete Hypothesen . . . . .	239
13.1.2. Explorativ gebildete Hypothesen . . . . .	242
13.2. Untersuchungsdesign und Durchführung . . . . .	243
13.2.1. Operationalisierung . . . . .	244
13.2.2. Datenbasis . . . . .	250
13.2.3. Durchführung . . . . .	250
13.3. Ergebnisse . . . . .	251
13.3.1. Repräsentation diagrammatischer Modelle . . . . .	251
13.3.2. Kollaboratives Arbeiten . . . . .	253
13.3.3. Herstellung von Verbindern . . . . .	253
13.3.4. Verwendung des Löschtokens . . . . .	258
<b>14.Evaluierung der erstellten Modelle</b>	<b>263</b>
14.1. Hypothesen . . . . .	263
14.1.1. Konzeptuell begründete Hypothesen . . . . .	263
14.1.2. Explorativ gebildete Hypothesen . . . . .	263
14.2. Untersuchungsdesign und Durchführung . . . . .	264
14.3. Ergebnisse . . . . .	264
14.3.1. Connectedness . . . . .	264
<b>15.Evaluierung der durchgeführten Articulation Work</b>	<b>265</b>
15.1. Hypothesen . . . . .	265
15.1.1. Konzeptuell begründete Hypothesen . . . . .	265
15.1.2. Explorativ gebildete Hypothesen . . . . .	265
15.2. Untersuchungsdesign und Durchführung . . . . .	265
15.3. Ergebnisse . . . . .	265
<b>16.Schlussbetrachtungen</b>	<b>265</b>
<b>Verzeichnisse</b>	<b>III</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>III</b>
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>IV</b>
<b>Stichwortverzeichnis</b>	<b>V</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>VIII</b>
<b>Bildquellen</b>	<b>X</b>

**Literaturverzeichnis**

**XIII**



# **Teil III.**

## **Evaluierung**



## Einleitung

Nach der nun erfolgten Beschreibung der Umsetzung des Werkzeugs wird in diesem Teil die Überprüfung der Verwendbarkeit des Werkzeugs und seiner Effekte behandelt. Ziel dieser Arbeit war es, explizite Articulation Work zu unterstützen. Letztendliches Ziel dieses Teils muss sein, diese Anforderung hinsichtlich ihrer Erfüllung oder Nicht-Erfüllung zu überprüfen.

Wie in Kapitel XY argumentiert, führt der Weg zur Unterstützung expliziter Articulation Work über die (kollaborative) Externalisierung mentaler Modelle. Die aus dieser Externalisierung resultierenden Strukturen sind ihrerseits diagrammatische Modelle. Die Qualität dieser Modelle ist vielschichtig bewertbar, im Kontext des hier verfolgten Verwendungszwecks sind aber einige Bewertungsdimensionen identifizierbar, die bei der Unterstützung von Articulation Work relevant sind. Diese Dimensionen werden ebenfalls hinsichtlich ihrer Ausprägung im hier vorgestellten Werkzeug zu bewerten sein.

Letztendlich wird die Externalisierung mentaler Modelle technisch durch ein Tabletop Interface unterstützt. Auch die technische Umsetzung bzw. deren Verständlichkeit und Verwendbarkeit hat Auswirkungen auf den Erfolg der Externalisierung und damit der durchgeführten Articulation Work. Das Werkzeug selbst und seine Nutzung muss also ebenfalls untersucht und im Kontext der Anforderungen in dieser Arbeit bewertet werden.

Entsprechend dieser Ausführungen wurde die hier beschriebenen Untersuchung durchgeführt. Sie gliedert sich in drei Teile, die sich mit dem Werkzeug selbst, den erstellten Modellen und den Auswirkungen durchgeführten expliziten Articulation Work auseinandersetzen. Die Struktur dieses Teiles spiegelt diese Aufteilung wieder. In Kapitel II wird das Werkzeug aus Sicht seiner Eigenschaften als Tabletop Interface theoretisch-konzeptionell betrachtet und aus den in diesen Bereich verfügbaren Analyse- und Beschreibungsframeworks mögliches Verbesserungspotential identifiziert. In Kapitel XY werden Design und Umsetzung jener Tests beschrieben, in denen die Benutzbarkeit und Verständlichkeit des Werkzeugs überprüft wurden. Die Überprüfung der Effekte des Werkzeugs beginnt im darauf folgenden Kapitel XY, in dem die erstellten Modelle und deren Entstehungsprozess Gegenstand der Betrachtung sind. Letztendlich wird in Kapitel XY auf die Wirkung des Werkzeugs auf Articulation Work und damit letztendlich auf die im jeweiligen Anwendungsfall zu erzielenden Effekte eingegangen.





# **11. Konzeptionelle Einordnung**

An dieser Stelle erfolgt ein Rückgriff auf die in Abschnitt 7.2 beschriebenen konzeptionellen Beschreibungs-Ansätze für Tangible User Interfaces. Das in den letzten drei Kapiteln beschriebene Werkzeug wird hier im Lichte eben dieser Ansätze betrachtet bzw. wo möglich mittels der vorgeschlagenen Schemata beschrieben. Damit werden zwei Ziele verfolgt. Einerseits soll die Praxistauglichkeit der konzeptionellen Ansätze überprüft werden, indem sie auf ein aktuelles, im Vergleich zu den beispielhaft in den Artikeln angegebenen Systemen komplexes und flexibles System angewandt werden. Andererseits soll durch die konzeptionelle Betrachtung des Werkzeugs das Design und die Umsetzung auf Inkonsistenzen geprüft werden und Potential für Verbesserungen des Werkzeugs identifiziert werden. Die hier abgeleiteten Potentiale werden in einem weiteren Schritt den Erkenntnissen aus der praktischen Evaluierung des Systems gegenübergestellt. So wird es möglich, auch die potentiellen Auswirkungen der Anwendung eines der hier vorgestellten konzeptionellen Ansätze bei der Konzeption und Umsetzung eines TUI<sup>1</sup> betrachtet werden.

Dieses Kapitel folgt im Aufbau der Struktur des Abschnitts 7.2 und betrachtet in der Folge jeden der vorgestellten Ansätze in einem separaten Abschnitt. Dabei werden jeweils die Konzepte des Ansatzes auf das Werkzeug angewandt (Unterabschnitt "Abbildung") und in der Folge die Erkenntnisse über die Eignung des Ansatzes und mögliches Verbesserungspotential des Werkzeugs angeführt (Unterabschnitt "Bewertung"). Abschließend erfolgt eine zusammenfassende Betrachtung der Ergebnisse hinsichtlich der beiden oben formulierten Ziele.

## **11.1. Einordnung in den Bricks-Designraum**

Grundlage der Betrachtungen in diesem Abschnitt ist das Konzept der Tangible Bits (Fitzmaurice et al., 1995), der in Abschnitt 7.2.1 beschrieben wird.

---

<sup>1</sup>Tangible User Interface

### II.1.1.1. Abbildung

Aus den Erfahrungen mit der Erstellung des „Bricks“-Systems leiten Fitzmaurice et al. (1995) einen „Design Space“ ab, der 13 Merkmale definiert, die bei der Konzeption eines TUI beachtet werden sollten bzw. die sich zur gegenüberstellenden Bewertung von TUIs eignen. Neben den Merkmalen geben die Autoren auch mögliche Ausprägungen an, die gemeinsam den Design Raum abstecken. Für das hier vorgestellte Werkzeug ergibt sich folgende Zuordnung:

In der Kategorie *Brick's internal ability* ist das System bzw. die eingesetzten Tokens als „inert“ zu klassifizieren, da die physischen Objekte keine Elektronik aufweisen und somit kein aktives Verhalten zeigen können. Bezieht man die unmittelbare Umgebung der Elemente, auf die Information projiziert werden kann, in die Beurteilung mit ein, so ist die Einstufung „simple expressions“ zu rechtfertigen.

In der Kategorie *Input & Output* werden eingabeseitig in unterschiedlichen Interaktionen folgende Parameter kontinuierlich oder ereignisgesteuert erfasst: X-Y-Position (kont.), Rotation (kont.), Tastatureingabe (ereignisgest.) und Kamerabild (ereignisgest.). Ausgabeseitig werden folgende Parameter eingesetzt: Zustand auf der physischen Oberfläche, Projektion und Bildschirm.

In der Kategorie *Spatially aware* ist (bezogen auf die Tokens) die Ausprägung „unaware“ zu wählen, da die physischen Elemente selbst keine Möglichkeit zur Feststellung der Konfiguration ihrer Umgebung haben. Bezogen auf das Gesamtsystem ist die Ausprägung „mutual awareness“ zu wählen, da den softwareseitigen Repräsentationen der Elemente durch das im Hintergrund arbeitende Lokalisierungssystem durchaus bekannt ist, wo sie sich befinden und welche Elemente sich in ihrer Nähe befinden.

In der Kategorie *Communication* ist keine Einordnung möglich, da die physischen Elemente des Systems nicht untereinander kommunizieren.

In der Kategorie *Interaction time span* sind die Ausprägungen „quick“ und „interaction cache“ zu wählen. Die meisten Interaktionen laufen ereignisbasiert ab und sind mit der Auslösung wieder abgeschlossen („quick“). Manche Interaktionen (z.B. Herstellung einer Verbindung, Kontrolle der Modellierungshistorie, ...) benötigen jedoch längere Zeit bzw. die Manipulation mehrerer Tokens („interaction cache“).

In der Kategorie *Bricks in use at same time* ist bei Betrachtung des gesamten Systems die Ausprägung (Größenordnung) „5-10“ zu wählen, da potentiell so viele Modellierungselemente gleichzeitig (auch durch mehrere Personen) benutzt werden. Bezogen auf die Werkzeug-Tokens (also die unmittelbar funktionsauslösenden physischen Elemente, die eigentlich von diesem Ansatz eigentlich betrachtet werden) sind die Ausprägungen „1“ oder „2“ (je nach Interaktion) zu wählen.

In der Kategorie *Function assignment* ist bezogen auf die Werkzeug-Tokens die Ausprägung „permanent“ zu wählen, da diesen die durch sie ausgelöste Funktion fix zugeordnet ist.

In der Kategorie *Interaction representations* ist die Ausprägung „balanced“ insofern für das vorliegende Werkzeug passend, als dass die physischen und digitalen Elemente einander in der Repräsentation des Systemzustandes gleichberechtigt ergänzen.

In der Kategorie *Physical & virtual layers* erfüllt das System durch die beiden Ausgabekanäle beide Ausprägungen („direct“ für die Tischoberfläche, „indirect“ für den sekundären Ausgabekanal).

In der Kategorie *Bond between physical & virtual layers* sind physische und virtuelle Ebene im hier vorgestellten System „tightly coupled“, da die Repräsentationen auf beiden Ebenen stets synchron sind.

In der Kategorie *Operating granularity* ist aufgrund der physischen Natur des Systems (Tisch) die Ausprägung „Desktop“ zu wählen, wobei dies auch mit der vorgesehenen Auflösung des Tracking („fraction of inches accuracy“) korreliert.

In der Kategorie *Operating surface type* erfüllt das System die Anforderungen der Ausprägung „dynamic“, da sich die Oberfläche durch die Projektion von Information zur Laufzeit ändert.

In der Kategorie *Operating surface texture* ist die Ausprägung „continuous“ auszuwählen, da die Elemente frei auf der Oberfläche platziert werden können.

### II.1.2. Bewertung

Der von Fitzmaurice et al. (1995) aufgespannte Design Raum für Graspable User Interfaces ist aus dem von den Autoren entwickelten System abgeleitet und weist mangels zum Zeitpunkt der Erstellung vorhandenen Alternativen starke Spezifika auf, die den Ansatz zur Einordnung anderer Systeme nur bedingt geeignet machen. Insbesondere die Ableitung mehrerer Eigenschaften aus der Tatsache, dass die physischen Elemente des System (die „Bricks“) aktive Bausteine sind und auf eine Oberfläche bewegt werden, schränkt die Verwendbarkeit einiger Kategorien im Allgemeinen ein (z.B. *Communication* oder *Spatially aware*). Außerdem ist der Design Raum auf Systeme ausgerichtet, die physische Elemente als Eingabewerkzeuge verwenden und berücksichtigt keine Elemente, die ausschließlich zur Informationsrepräsentation verwendet werden.

Das hier vorgestellte Werkzeug konnte weitgehend in den Design Raum eingeordnet werden, wenn auch die Verwendung passiver Tokens nicht vorgesehen ist und damit einige Kategorien nicht sinnvoll belegt werden können. Ansätze zur Ver-

besserung des Werkzeugs können nicht abgeleitet werden, das der Designraum für Detailbetrachtungen zu unspezifisch bleibt und seine generelle Ausrichtung nicht vollständig auf die Eigenschaften des Werkzeugs abgebildet werden können.

## II.2. Bestimmung der Eigenschaften des Graspable User Interfaces Ansatz

Grundlage der Betrachtungen in diesem Abschnitt ist das Konzept der Tangible Bits (Fitzmaurice, 1996), der in Abschnitt 7.2.2 beschrieben wird.

### II.2.1. Abbildung

Fitzmaurice (1996) definiert fünf Eigenschaften, die ein „Graspable User Interface“ ausmachen und legt mögliche Ausprägungen fest, deren Werte für ein konkretes System eine Aussage über dessen „Graspability“ zulässt. Für das hier vorgestellte Werkzeug sind folgende Einstufungen argumentierbar:

In der Kategorie *Space-multiplexing* ist die höchste Ausprägung „permanent, never reassign“ auszuwählen. Dies ist der Fall, weil sämtlichen Werkzeugtokens des Systems eine vorgegebene Funktion zugewiesen ist, die sich während der Laufzeit nicht ändert.

In der Kategorie *Concurrency* ist hinsichtlich der Verwendung von Werkzeugen die Ausprägung „occasionally 2“ zu wählen. Die Eigenschaften beziehen sich ausschließlich auf Werkzeuge zur Manipulation digitaler Information, so dass die Modellierungstokens, die den Systemzustand repräsentieren, außer acht gelassen werden. „Occasionally 2“ trifft dann deswegen zu, weil sowohl bei der Verbindungsherstellung als auch zum Auslösen der Wiederherstellungsunterstützung jeweils zwei Werkzeug-Token gleichzeitig eingesetzt werden müssen, in allen anderen Fällen aber nur ein Werkzeug zum Einsatz kommt. Berücksichtigt man die Modellierungstokens (als Werkzeuge zur Manipulation des Systemzustandes), wäre die höchste Ausprägung „more than 3“ zu wählen.

In der Kategorie *Physical form* ist die höhere Ausprägung „specific“ auszuwählen, da für jede Funktionalität ein spezifisches Werkzeug-Token existiert.

In der Kategorie *Spatially aware* ist hinsichtlich der Werkzeugtokens eine Mischform zwischen „unaware“ und „aware“ zu wählen. Bei einem Teil der Werkzeugtokens ist die konkret ausgeführte Funktion von dessen Position bzw. Nähe zu Modellierungstokens abhängig (bei Markierungstokens) oder wird durch dessen Orientierung beeinflusst (beim Historien-Kontroll-Token). Die übrigen Werkzeug-Tokens

sind jedoch insofern „spatially unaware“, als dass ihre Positionierung auf der Oberfläche keinen Einfluss auf deren Funktionalität hat. Die Modellierungstokens und die einbettbaren Tokens wären bei Berücksichtigung als „spatially aware“ zu klassifizieren.

In der Kategorie *Spatial reconfigurability* ist das System in die Ausprägung „track“ einzuordnen, da die einzelnen Werkzeuge nicht unabhängig von der Oberfläche und der in ihr integrierten optischen Tracking-Funktion verwendet werden können.

#### 11.2.2. Bewertung

Die Eigenschaften von Graspable User Interfaces erlauben eine allgemeine Bewertung eines TUI. Sie sind nicht geeignet, um eine detaillierte Analyse oder Spezifikation durchzuführen. Dieser Aspekt – die Eigenschaften des Gesamtsystems – wird jedoch bei den meisten anderen Frameworks außer acht gelassen, so dass eine Einordnung in das vorgeschlagene Schema durchaus sinnvoll sein kann.

Für das hier vorgestellte Werkzeug wurden durchwegs Ausprägungen identifiziert, die auf eher hohe „Graspability“ hinweisen. Ein Nachteil des Ansatzes liegt in der Fokussierung auf reine „Steuerungs“-TUIs, die zur Kontrolle oder Manipulation digitaler Information verwendet werden. Würde der Repräsentations-Aspekt eines TUI (stärker) berücksichtigt, würden sich wie oben beschrieben zum Teil höhere Ausprägungen in einzelnen Kategorien ergeben. Verbesserungspotential kann ob der allgemeinen und relativ abstrakten Beschreibung des Werkzeugs mit diesem Ansatz nicht abgeleitet werden.

### 11.3. Betrachtung im Lichte des Tangible Bits Ansatzes

Grundlage der Betrachtungen in diesem Abschnitt ist das Konzept der Tangible Bits (Ishii und Ullmer, 1997), der in Abschnitt 7.2.3 beschrieben wird.

#### 11.3.1. Abbildung

Das hier vorgestellte Werkzeug kann hinsichtlich seiner Funktion als eine Instanz des Konzepts „Interactive Surface“ betrachtet werden. Die „Surface“ ist hierbei eine Tischoberfläche, auf der interagiert wird. Die im Rahmen der Beschreibung des „metaDESK“ (Ullmer und Ishii, 1997) als Beispiel für eine „Interactive Surface“ ein-

geführten TUI-Elemente finden zum Teil auch im hier vorgestellten Werkzeug Anwendung.

Die Modellierungstokens und einbettbaren Tokens des Werkzeugs sind *Phicons*, also passive Träger von digitaler Information. Die Werkzeugtokens zur Manipulation des Modells entsprechen *Phandles*, also Elemente, die dazu verwendet werden, digitale Information zu verändern bzw. festzulegen. Jene Werkzeugtokens, die der Steuerung der Systemfunktionen dienen, sind hingegen als *Instruments* zu klassifizieren. *Lenses* und *Trays* kommen im Werkzeug nicht zum Einsatz.

Hinsichtlich der Metaphorik unterscheiden Ullmer und Ishii (1997) zwischen unterschiedlichen Abstraktionsebenen von Phicons (*generic* – *symbolic* – *model*), wobei im vorliegenden System ob der offenen Semantik die Modellierungstokens ausschließlich *generic Phicons* sind bzw. sein können. Die Werkzeugtokens sind zumeist als *symbolic Phicons*, im Falle des Löschtokens – dem Radiergummi – eher als *model Phicon* zu klassifizieren.

### II.3.2. Bewertung

Für die Bewertung des Werkzeugs ist vor allem dessen Gegenüberstellung zu den vorgeschlagenen Elementen einer „Interactive Surface“ von Interesse. Hier zeigt sich, dass die unterschiedlichen Arten von Tokens, die im Werkzeug eingeführt wurden, feingranular auf die unterschiedlichen Element-Arten von (Ishii und Ullmer, 1997) abbildbar sind. Insbesondere die explizite Unterscheidung zwischen *Phandles* und *Instruments* ist eine Alleinstellungsmerkmal der hier vorgeschlagenen Systematik.

Eine mögliche Lücke, die Erweiterungspotential für das Werkzeug anzeigen könnte, ist die Abwesenheit von TUI-Elementen, die als *Lenses* oder *Trays* zu klassifizieren sind. Insbesondere *Trays* erscheinen für die explizite Interaktion mit einzelnen Tokens – etwa der Benennung oder der Einbettung von Zusatzinformation – als geeignet. Die dazu notwendigen Interaktionsabläufe würden expliziter auf den Vorgang der Zuordnung von Information eingehen und sich stärken von anderen Interaktionen unterscheiden, die anderen Zwecken, z.B. der Herstellung von Verbindungen zwischen Modellierungstokens, dienen.

### II.4. Einordnung in das Ordnungssystem von Holmquist et al.

Grundlage der Einordnung in diesem Abschnitt ist der Ansatz von (Holmquist et al., 1999), der in Abschnitt 7.2.4 beschrieben wurde.

### II.4.1. Abbildung

Die von Holmquist et al. verwendete Terminologie ist im Wesentlichen direkt auf jene abbildbar, die in dieser Arbeit verwendet wurde. Die Modellierungstokens und einbettbaren Tokens entsprechen im Wesentlichen *Tokens*. Dies ist dadurch begründbar, dass die Art eines Modellierungstokens in einem Modell immer im gleichen Zusammenhang mit der Art der Information steht, die durch dieses repräsentiert wird. Eine Eigenschaft, die eher *Containern* zuzuordnen ist, ist jedoch die dynamische Festlegbarkeit der Bedeutung einer Art von Modellierungstokens - die physischen Elemente ansich sind vor Beginn der Modellbildung generisch (also *Container*), werden aber im Zuge der Modellierung mit Bedeutung belegt (die dann für alle Instanzen dieser Art von Modellierungstokens gilt) und sind dann eher als *Tokens* zu klassifizieren.

Die Werkzeugtokens des hier vorgestellten Systems entsprechen in ihrer Konzeption den *Tools*. Sie manipulieren digitale Information, lösen Aktionen aus oder versetzen das System in einen anderen Zustand und entsprechen damit exakt der Definition von *Tools*, die von den Autoren gegeben wird.

*Information Faucets* sind im Kontext des hier vorgestellten Systems einerseits die Tischoberfläche, über die Information zu Modellierungstokens abgerufen werden kann, andererseits ist die Registrierungskamera ein klassisches Faucet im Sinne der Definition, da sie dem Abruf oder der Assoziation von Information an ein Token dient, sobald dieses in den Erfassungsbereich der Kamera gerät.

### II.4.2. Bewertung

Die konzeptionellen Elemente des hier vorgestellten Systems sind also auf das Ordnungssystem von Holmquist et al. (1999) abbildbar. Die Problematik der nicht eindeutigen Zuordnung von Modellierungstokens zur Kategorie *Tokens* oder *Constraints* ist einerseits auf eine der grundlegenden Design-Paradigmen des hier entwickelten Werkzeugs – der Flexibilität der Abbildung – zurückzuführen, weist aber andererseits auch auf mögliches Verbesserungspotential hin.

Durch die Flexibilisierung nicht nur der Bindung zwischen physischen Elementen und digitaler Repräsentation sondern auch der Verwendung von unterschiedlichen physischen Elementen selbst könnten Modellierungstokens eher *Token*-artiger werden. Indem Modellierende eigenen physische Elemente (auf ihrem Arbeitskontext) einbringen können, könnte die Erfassbarkeit der Bedeutung der physischen Repräsentation unter Umständen verbessert werden können.

## II.5. Einordnung in das Object-Meaning-Kontinuum

Grundlage der Einordnung in diesem Abschnitt ist der Ansatz von Underkoffler und Ishii (1999), der in Abschnitt 7.2.5 beschrieben wurde.

### II.5.1. Abbildung

Das Object-Meaning-Kontinuum ist eines der ersten Ansätze, die die physischen Objekte eines TUI nicht strikten Kategorien zuordnen sondern auf einem Kontinuum anordnen. Dabei wird kein kategorischer Unterschied zwischen informationsrepräsentierenden Objekten und Werkzeug-Objekten gemacht – sowohl in der Mitte des Kontinuums als auch an den Enden verschwimmt die Grenzen zwischen Objekt als reiner Repräsentation und reinem Werkzeug.

In der Folge werden die Objekte des Werkzeugs in das Kontinuum eingeordnet, wobei zur einfacheren Anwendbarkeit die entlang des Kontinuums von den Autoren definierten Ausprägungen verwendet werden.

Die Ausprägung *object as noun* kommt im Werkzeug nicht zum Einsatz. Keines der physischen Elemente hat eine direkte Entsprechung in der realen Welt – durch die geforderte Flexibilität der Abbildung wäre das auch nicht möglich.

Die Elemente die zur Modellbildung verwendet werden – also Modellierungstokens und einbettbare Tokens – sind der Ausprägung *object as attribute* zuzuordnen, da in die Farbe bzw. Form der Tokens Bedeutung (nämlich die Semantik des jeweiligen Art von Tokens) codiert ist. Bei Modellierungstokens ist zu beachten, dass die Zuordnung der Bedeutung dynamisch zu Laufzeit erfolgt, der physischen Eigenschaft des Objekts also erst durch die Benutzer konkret Bedeutung zugewiesen wird.

Keines der Objekte des Werkzeug ist aufgrund seines Designs der Ausprägung *object as pure object* zuzuweisen. Diese Zuordnung kann jedoch dynamisch bei der Modellbildung für Modellierungstokens eintreten, wenn die Benutzer den unterschiedlichen Objektarten keine Bedeutung zuordnen und diese beliebig mit Information belegen.

Die Tokens, die im Werkzeug nicht unmittelbar zur Modellbildung verwendet werden, verteilen sich zwischen den beiden funktional abstrahierten Ausprägungen des Kontinuums. Der Ausprägung *Object as Verb* sind das Historiensteuerungs-Token und das Markierungstoken zur Herstellung einer gerichteten Verbindung zuzuordnen. Für das Historiensteuerungs-Token gilt dies, da dessen Drehbewegung zur zeitliche Navigation auf die Bewegungen eines Uhrzeigers abbildbar ist. Das



Markierungstoken zur Herstellung einer gerichteten Verbindung weist eine Pfeilspitze als Grundfläche auf, wodurch eine physische Eigenschaft Hinweise auf die Funktion des Tokens gibt (hier allerdings grenzwertig, das die dreieckige Grundfläche nicht eindeutig als Pfeilspitze zu erkennen ist). Die übrigen Tokens sind eher im Bereich des *object as reconfigurable tool* anzusiedeln, da ihrer äußere Form oder ander physische Eigenschaften keine Hinweise auf deren Funktionalität geben. Dies gilt für die allgemeinen Markierungstokens, das Snapshot-Token und das Wiederherstellungs-Token.

Einen Spezialfall bildet das Löschtoken, das mit dem Radiergummi als Repräsentation eine *object as verb*-Einordnung suggeriert (Radiergummi zum Löschen von Verbindungen), tatsächlich das System aber lediglich in einen Löschmodus versetzt, in dem Verbindungen mittels anderer Interaktionsabläufe gelöscht werden können. Hinsichtlich seiner tatsächlichen Verwendung ist das Löschtoken also als *object as reconfigurable tool* zu klassifizieren.

### 11.5.2. Bewertung

Das von den Autoren vorgeschlagene Kontinuum eignet sich, um die Elemente eines TUI hinsichtlich deren Bedeutung und Verwendung einzuordnen. Diese Einordnung kann nützlich sein, um Elemente zu identifizieren, deren tatsächliche Verwendung im TUI nicht mit der wahrgenommenen Bedeutung übereinstimmt. Dazu müssen die Elemente unabhängig von der konkreten Implementierung klassifiziert werden (ggf. von nicht am Design und der Entwicklung beteiligten Personen) und das Ergebnis der umgesetzten Funktionalität gegenübergestellt werden.

Für das hier vorgestellte Werkzeug ist eine derartige Diskrepanz wie oben bereits beschrieben am Löschtoken zu erkennen. Dieses suggeriert eine Verwendbarkeit im Sinne von *object as verb*, setzt aber tatsächlich die augenscheinliche Funktion (Löschen) nicht um (bzw. ist auf eine andere Funktion – Löschmodus aktivieren – abgebildet) und ist deshalb lediglich als *object as reconfigurable tool* einzuordnen. Eine „Aufwertung“ des Löschtokens im Sinne einer Hinterlegung mit der tatsächlichen Lösch-Funktion würde eine erwartungskonforme Verwendbarkeit eher sicherstellen und so zur Verbesserung des Gesamtsystems beitragen.

## 11.6. Betrachtung im Lichte des MCRpd-Modells

Grundlage der Einordnung in diesem Abschnitt ist der Ansatz von Ullmer und Ishii (2000), der in Abschnitt 7.2.6 beschrieben wurde.

### II.6.1. Abbildung

Wird das erstellte Werkzeug dem MCRpd<sup>2</sup>-Modell gegenübergestellt, so ist erkennbar, dass die Eigenschaften des Werkzeugs augenscheinlich nicht den Anforderungen des MCRpd-Modells an ein Tangible User Interface genügen. Das Werkzeug verfügt über einen Ausgabekanal – den Bildschirm – der nicht an die physische Repräsentation gekoppelte ist. Bei näherer Betrachtung erscheint eine vollständige Einordnung jedoch argumentierbar. All jene Interaktionen, die mit der eigentlichen Modellierung zusammenhängen, genügen den Anforderungen des MCRpd-Modells ohne Einschränkungen. Die Manipulation des *Model* (im MCRpd-Modell) erfolgt über die Tischoberfläche, die gleichzeitig dazu verwendet wird, den Systemzustand zu manifestieren. Dem MCRpd-Modell entgegenzulaufen scheinen jene Interaktionsabläufe, die den sekundären Ausgabekanal einbeziehen. Dabei sind zwei Fälle zu unterscheiden. Bei der Einbettung von Information in Modellelemente wird die sekundäre Oberfläche zur Auswahl der anzubindenden Ressource und damit als GUI<sup>3</sup> benutzt. Eine Einordnung in das MCRpd-Modell ist hier damit nicht möglich. Bei der Betrachtung der Modellierungshistorie wird die sekundäre Oberfläche als alleiniges Ausgabemedium benutzt, der Systemzustand wird durch das runde Navigationstoken auf der Oberfläche beeinflusst. Dies verletzt grundsätzlich den Aufbau des MCRpd-Modells, betrachtet man jedoch die daraus abgeleiteten Kern-Charakteristika von TUIs, so kann festgestellt werden, dass diese dennoch nicht verletzt sind. Das in Frage zu stellende Charakteristikum ist jene mit der Forderung nach Kopplung zwischen der physischen Repräsentation des *Models* (*REP-P*) und der intangiblen, digitalen Manifestation von Modellaspekten in der realen Welt (*REP-D*). Die Autoren fordern von dem Zusammenhand zwischen *REP-P* und *REP-D* jedoch ausschließlich, dass er „*perceptually coupled*“ sein müsse, die Kopplung also von den Benutzern als solche wahrgenommen werden müsse. Betrachtet man das runde Navigationstoken als *REP-P* und die Ausgabe am sekundären Ausgabekanal als *REP-D*, so ist diese Kopplung feststellbar, da sich *REP-D* immer in Abhängigkeit von *REP-P* verändert. Insofern ist das MCRpd-Modell nicht verletzt, das Werkzeug weist die von den Autoren als Kern-Charakteristika von Tangible User Interfaces bezeichneten Eigenschaften auf.

Hinsichtlich der Kategorien von TUIs, die von den Autoren festgelegt werden, ist das System der Kategorie *relational* zuzuordnen. Das hier vorgestellte Werkzeug ist nicht *spatial*, da die Position der verwendeten Tokens relativ zum Referenzrahmen (der Tischoberfläche) keine spezifische Bedeutung haben. Die Bedeutung ist viel mehr in den Beziehungen der Tokens untereinander codiert, was wiederum für ein *relationales* System sprechen würde. Gleichzeitig kann damit die Kategorie *associa-*

---

<sup>2</sup>Model-Control-Representation (physical and digital)

<sup>3</sup>Graphical User Interface

*tive* ausgeschlossen werden, da in System dieser Art keine Beziehungen zwischen Tokens berücksichtigt werden. Da die Beziehungen zwischen Tokens nur digital und nicht physisch abgebildet werden, ist die Bedingung für ein *konstruierendes* System nicht erfüllt. *Constructive* wäre das Werkzeug dann, wenn der Modellzustand vollständig durch physische Elemente und Verbindungen abgebildet wäre.

### 11.6.2. Bewertung

Das *MCRpd*-Modell ist ein im Vergleich zu anderen Ansätzen eher abstraktes, konzeptionelles Modell zur Beschreibung eines Tangible User Interfaces. Trotzdem – oder auch deswegen – eignet es sich gut zur Reflexion der Eigenschaften eines TUIs bzw. zur Prüfung der Konsistenz der vorgesehenen Benutzerinteraktionen.

Das Werkzeug konnte in die Logik des Modells eingeordnet werden, wobei bei der Beschreibung der Interaktion zur Steuerung der Modellierungshistorie verstärkter Argumentationsbedarf herrschte. Dies kann auf eine möglicherweise zu schwache Kopplung zwischen *REP-P* und *REP-D* hinweisen. Tatsächlich wird bei der Kontrolle der Modellierungshistorie auf der Tischoberfläche kein Feedback ausgegeben, ob das Steuerungs-Token erkannt wurde und in welchem Zustand es sich aktuell befindet. Die Kopplung könnte etwa in Form einer Darstellung des aktuell dargestellten Zeitpunkts in der Modellierungshistorie rund um das Kontroll-Token angezeigt werden, was die Kopplung zwischen den beiden Komponenten der Repräsentation verstärken würde.

## 11.7. Einordnung in den Tokens+Constraints Kontext

Grundlage der Einordnung in diesem Abschnitt ist der Ansatzes von (Ullmer et al., 2005), der in Abschnitt 7.2.7 beschrieben wurde.

### 11.7.1. Einordnung

Eine unmittelbare Einordnung des hier vorgestellten Werkzeugs in den Tokens+Constraints-Ansatz ist nicht möglich, da einerseits kein allgemeines Schema zur Betrachtung vorgeschlagen wird und das Werkzeug seiner Konzeption nach nicht dem Verständnis eines Tokens+Constraints-System nach (Ullmer et al., 2005) entspricht. Dazu müsste es physische Constraints aufweisen, die den Interaktionsraum der informationstragenden Tokens physisch einschränken. Das einzige nach dieser Definition

identifizierbare Constraint des Werkzeugs ist der aktive Bereich der Tischoberfläche, die den Modellierungsraum beschränkt. Diese Einschränkung ist aber im Vergleich zu den Beispielen für Constraints, die die Autoren angeben, eher wenig strikt und lässt viel Interaktionsraum.

Am ehesten ist das vorliegende System als eine „interactive surface“ mit Aspekten einer „constructive assembly“ zu klassifizieren. Die Qualifikation als „interactive surface“ erscheint ob der Interaktion mit physischen Blöcken auf einer digital augmentierten Oberfläche naheliegend. „Constructive assembly“-Aspekte sind im Bereich der Einbettung von informationstragenden Tokens in Modellierungs-Tokens zu finden. Die Zuordnung wird dabei durch das Hineinlegen eines Tokens in ein anderes ausgedrückt, wodurch die konkrete Semantik in der Beziehung zwischen den beiden Tokens abgebildet ist. Generell wird die Semantik des abzubildenden Modells in der räumlichen und logischen Konfiguration der Modellierungs-Tokens zueinander abgebildet, was ebenfalls einem „constructive assembly“-Aspekt entspricht.

Nicht unmittelbar in Zusammenhang mit dem Tokens+Constraints-Ansatz stehen die fünf Fragen von (Bellotti et al., 2002), die beim Design einer Benutzungsschnittstelle berücksichtigt werden sollten. In Ullmer et al. (2005) werden diese Fragen für den dort vorgestellten Ansatz beantwortet, an dieser Stelle sollen sie im Lichte des hier vorgestellten Systems betrachtet werden.

**Address** Das System interpretiert alle Interaktionen, die mit Modellierungs- oder Werkzeugtokens unmittelbar auf der Tischoberfläche ausgeführt werden, als an es gerichtet. Andere Interaktionen werden ignoriert und können auch technisch nicht erfasst werden.

**Attention** Der Einsatz jedes Tokens löst unmittelbar eine Reaktion auf den Ausgabekanälen des Systems aus. Benutzer erhalten also direktes Feedback auf erkannte Interaktionen. Eine Verzögerung zwischen Ein- und Ausgabe tritt lediglich bei der Markierung von Elementen auf, die zur Robustheit gegen Fehlerkennungen erst erfasst wird, wenn das Eingabe-Token länger als 500 ms vorhanden ist.

**Action** Befehle an das System können generell an einem beliebigen Punkt der Oberfläche abgesetzt werden, sofern es sich um allgemeine Kommandos handelt, die das Gesamtsystem betreffen. Befehle, die einem bestimmten Objekt zuzuordnen sind (z.B. Auswahl oder Verbindungsherstellung) werden durch räumliche Nähe zugeordnet.

**Alignment** Nach Ausführung einer Aktion befindet sich das System immer in einem stabilen Zustand, anhand dessen Visualisierung die Benutzer erkennen können, ob die intendierte Aktion korrekt erkannt und ausgeführt wurde.

**Accident** Missverständnisse zwischen System und Benutzern können auf unterschiedliche Arten aufgelöst werden. Bei Benutzeraktionen, die mit einem Timeout belegt sind (z.B. Auswahl) ist es ausreichend, dieses Timeout abzuwarten, wodurch das System wieder in den Ausgangszustand wechselt. Missverständnisse, die zu permanenten Zustandsänderungen führen, können entweder explizit durch die gegenteilige Interaktion rückgängig gemacht werden (z.B. Löschen einer versehentlich hergestellten Verbindung) oder mittels der Wiederherstellung eines gespeicherten Systemzustandes korrigiert werden, in dem das Missverständnis noch keine Auswirkung hatte bzw. nicht aufgetreten war.

### 11.7.2. Bewertung

Der Tokens+Constraints-Ansatz ermöglicht in der vorliegenden Form keine direkte Abbildung des Werkzeugs auf seine Konzepte. Wertvoller für die Betrachtung sind an dieser Stelle die Ordnungsschemata und Fragestellungen, die von Ullmer et al. (2005) im Kontext des Ansatzes erarbeitet bzw. beantwortet werden.

Von Interesse sind insbesondere die fünf Fragen für das Design von Benutzungsschnittstellen, die von (Bellotti et al., 2002) gestellt werden. Bei der Beantwortung dieser Fragen für das vorliegende System ist durchaus Verbesserungspotential zu identifizieren. Am offensichtlichsten zeigt sich das am Beispiel des Feedbacks des Systems an Benutzer über einen erkannten Interaktionswunsch. Hier kommt es beim Einsatz des Markierungstokens technisch bedingt zu Verzögerungen, die – ob der ansonsten unmittelbaren Reaktion des Systems – Unsicherheit bei den Benutzern erzeugen kann. Auch die Auflösung von Missverständnissen ist im Moment sub-optimal gelöst, da in jedem Fall entweder Zeitverlust auftritt oder mindestens zwei Interaktionsschritte zur Korrektur einer Fehlinterpretation notwendig sind. Hier wäre unter Umständen die Einführung einer expliziten „Undo“-Funktionalität sinnvoll.

## 11.8. Einordnung in das Framework nach Koleva et al.

Grundlage der Einordnung in diesem Abschnitt ist der Ansatz von (Koleva et al., 2003), der in Abschnitt 7.2.8 beschrieben wurde.

### 11.8.1. Abbildung

Das Framework eignet sich zur Einordnung einzelner Aspekte eines Tangible User Interfaces, aufgrund seiner Ausrichtung auf die Brücke zwischen realer und digitaler Welt insbesondere für die Betrachtung der eingesetzten Tokens und deren Verwendung zur Repräsentation und Manipulation des Systemzustandes. In Tabelle 11.1 werden die Tokens in die Kategorien entlang des Kohärenz-Kontinuums eingeordnet und hinsichtlich der Eigenschaften ihrer Brückenfunktion in die digitale Welt betrachtet.

Tabelle 11.1.: Beurteilung des Werkzeugs hinsichtlich des Degree of Coherence

Element	Kategorie	Transformation	Sensing of Interaction	Konfigurierbarkeit	Lebensdauer	Autonomie
Modellierungstoken	Proxy	lit.	X-Y-Position und Rotation, Öffnungsstatus	fixiert	temp.	abh.
einbettbares Token	Identifer	transf.	Präsenz, Container	fixiert	temp.	unabh.
Markierungstoken	Specialized Tool	transf.	X-Y-Position	fixiert	temp.	unabh.
Löschtoken	Projection	transf.	Präsenz	fixiert	perm.	unabh.
Snapshottoken	Specialized Tool	transf.	Präsenz	fixiert	perm.	unabh.
Historienavigationstoken	Specialized Tool	transf.	Rotation	fixiert	perm.	unabh.
Wiederherstellungstoken	Specialized Tool	transf.	Präsenz	fixiert	perm.	unabh.

lit. ...literally, transf. ...transformed, konfigur. ... konfigurierbar, temp. ... temporär, perm. ... permanent, abh. ... abhängig, unabh. ... unabhängig

Die Kardinalität wurde hier nicht gesondert betrachtet, die die Kardinalität immer 1:1 ist, also eine eindeutige Zuordnung zwischen realem Objekt und digitaler Repräsentation gegeben ist. Im Übrigen verzichten auch Koleva et al. (2003) auf die Einordnung in diese Kategorie, da sie generell nur geringen Unterscheidungswert hat. Hinsichtlich der Source of Link, die in der Tabelle ebenfalls nicht angegeben ist (und von den Autoren ebenfalls nicht verwendet wird), ist zu erwähnen, das das

Werkzeug durchaus einen Aspekt aufweist, bei dem der Source of Link die digitale Welt ist. Im Rahmen der Wiederherstellungsunterstützung gibt das System Anweisungen zur Manipulation der realen Welt, wodurch sich der Informationsfluss umkehrt. Da jedoch kein physisches Element direkt manipuliert wird, ist eine Einordnung in das oben angeführte Schema nicht möglich (der Link ist lediglich indirekt vorhanden).

## 11.8.2. Bewertung

Das von (Koleva et al., 2003) vorgeschlagene Framework ermöglicht die Klassifikation eines Tangible Interfaces über den Aspekt der Stärke der Bindung zwischen digitaler und realer Welt. Die Autoren nehmen damit eine zu diesem Zeitpunkt neue Perspektive ein, der noch keine große Aufmerksamkeit geschenkt wurde. Durch die Vernachlässigung der Interaktion am Tangible User Interface stellt eine Analyse unter Einsatz der im Framework vorgeschlagenen Kategorien und Merkmalen nur einen Teilaspekt des Gesamtsystems dar. Trotz dieser Einschränkung stellt das Framework ob seiner detaillierten Betrachtung der Eigenschaften der Verknüpfung von physischen Objekten mit digitaler Information einen potentiellen Mehrwert dar beim Design oder der Analyse von TUIs dar.

Insbesondere ermöglicht das Framework, nicht ausgeschöpftes Kohärenz-Potential zu identifizieren. Im konkreten Fall des hier vorgestellten Werkzeugs lässt sich das am Beispiel des Löschtokens zeigen. Dieses physisch durch einen Radiergummi repräsentierte Token wird im Moment lediglich als Schalter verwendet. Das System wird in den Löschmodus versetzt, sobald das Token auf der Oberfläche erkannt wird. Das Token ist als *Projection* einzuordnen, die das Token mit der Information des aktivierten oder deaktivierten Löschmodus verbindet. Obwohl hoch kohärent, ist das Token trotzdem suboptimal eingesetzt, da es in der Praxis als Werkzeug wahrgenommen wird, das zum Löschen einer spezifischen Verbindung verwendet werden kann (*Specialized Tool*). An diesem Beispiel lassen sich zwei Aspekte zeigen, die bei der Verwendung des Frameworks beachtet werden müssen. Zum einen ist hohe Kohärenz nicht für jeden Anwendungsfall anstrebenswert, da bei Werkzeugen im Allgemeinen eine nicht permanente Bindung verwendet wird. Zum anderen zeigt sich die Unvollständigkeit der Analyse mittels dem Framework, da die Metaphorik des physischen Elements, also seine Bedeutung in der Interaktion, nicht berücksichtigt wird. Beide Aspekte – Kohärenz und Metaphorik – berücksichtigt erst (Fishkin, 2004) in der von ihm vorgeschlagenen Taxonomie (siehe Abschnitt 7.2.11 und 11.11).

## II.9. Spezifikation des TAC-Schemas nach Shaer et al.

Grundlage der Einordnung in diesem Abschnitt ist der Ansatzes von Shaer et al. (2004), der in Abschnitt 7.2.9 beschrieben wurde.

### II.9.1. Abbildung

Das „Token and Constraints“-Schema (TAC<sup>4</sup>) erlaubt es, ein Tangible Interface sowohl hinsichtlich dessen Struktur als auch dessen Verwendung zu beschreiben. In Tabelle II.2 wird das Schema auf das hier vorgestellte Werkzeug angewandt.

Tabelle II.2.: Spezifikation des Werkzeug mittels TAC-Schema

TAC	Struktur		Verhalten		
	Token	Constraint	Variable	Aktion	Feedback
1	Modell- ierungs- token	Oberfläche	Modell- element	Auflegen	Modellelement anzeigen
				Bewegen	Modellelement bewegen
				Entfernen	Modellelement entfernen
2	einbett- bares Token	Modell- ierungs- token	Modell- element	Hinein- legen	Daten einbetten
				Heraus- nehmen	Container- Kopplung aufheben
3	einbett- bares Token	Regist- rierungs- kamera	einbett- bares Modell- element	Vor die Kamera halten	ungebunden: Datenbindung auslösen; gebun- den: Gebundene Daten anzeigen
4	Markierungs- token	Modell- ierungs- token	Modell- element	Neben Modell- ierungs- token platzieren	Markierung anzeigen

<sup>4</sup>Token and Constraint



Tabelle 11.2.: (Fortsetzung)

TAC	Struktur		Verhalten		
	Token	Constraint	Variable	Aktion	Feedback
5	Markierungstoken	Modellierungstoken, markiertes Modellierungstoken	Verbindung	Neben unmarkiertem Modellierungstoken platzieren	Verbindung herstellen und anzeigen
6	Tastatur	markiertes Modellierungstoken	Modell-element	Tastatureingabe	Benennung des markierten Modellelements
7	Tastatur	Verbindungen, kein markiertes Modellierungstoken	zuletzt hergestellte Verbindung	Tastatureingabe	Benennung der zuletzt hergestellten Verbindung
8	Löschtoken	Oberfläche	Modell-element	Auflegen	Löschmodus aktivieren
				Entfernen	Löschmodus deaktivieren
9	Snapshottoken	Oberfläche	Modellierungshistorie	Auflegen	Aktuellen Modellzustand sichern, Blitz anzeigen
10	Historienkontrolltoken	Oberfläche	Modellierungshistorie	Auflegen	Letzten gespeicherten Snapshot anzeigen
				Drehen	Durch die gespeicherten Snapshots navigieren

Tabelle II.2.: (Fortsetzung)

TAC	Struktur		Verhalten		
	Token	Constraint	Variable	Aktion	Feedback
				Entfernen	Aktuelles Modell anzeigen
II	Wiederherstellungstoken	Oberfläche, vorhandenes Historienkontrolltoken	Modellzustand	Auflegen	Aktuell angezeigten Snapshot wiederherstellen

Jene Interaktionsabläufe, bei denen das System die Aktionen der Benutzer anleitet (z.B. bei der Unterstützung der Wiederherstellung) können in diesem Schema nicht abgebildet werden, da die Constraints keine physischen Objekte sondern lediglich projizierte Information sind.

### II.9.2. Bewertung

Das TAC-Schema eignet sich für eine umfassende Spezifikation des Struktur und des Verhaltens eines Tangible User Interfaces. Das vorgeschlagene Schema geht jedoch (wie die meisten anderen Ansätze auch) davon aus, dass das TUI vor allem zur Informationseingabe verwendet wird und dass sich der Systemzustand und dessen Manifestierung am Interface in Abhängigkeit dieser Eingaben ändern. Nicht abbildbar sind Interaktionen, die vom System ausgelöst bzw. kontrolliert werden, bei denen also die *Variable* das aktive und nicht das manipulierte Element ist (im Gegensatz zum zuvor vorgestellten *Degree of Coherence*-Ansatz der mit der *Source of Link*-Eigenschaft explizit auf diesen Aspekt eingeht – siehe Abschnitt 7.2.8).

Entsprechend dieser Einschränkung eignet sich das TAC-Schema weitgehend für die Spezifikation des hier vorgeschlagenen Werkzeuges. Lediglich die Wiederherstellungsunterstützung kann nicht abgebildet werden, da sie vom System gesteuert wird. Beim Einsatz zur Spezifikation eines TUI oder bei der Untersuchung desselben hinsichtlich möglichem Verbesserungspotential ist vor allem auf die möglichen Constraints eines Tokens zu achten. Dabei ist es hilfreich, unterschiedliche Constraints bezüglich der von ihnen vorgegebenen oder durch sie ermöglichten Aktionen zu betrachten. Als Beispiel im konkreten System kann wiederum das Löschtoken verwendet werden. Dieses wird in der aktuellen Implementierung mit dem Constraint „Oberfläche“ verwendet, um den Löschmodus zu aktivieren (wenn es aufge-

legt wird) bzw. zu deaktivieren (wenn es entfernt wird). Setzt man das Löschtoken nun in ein TAC mit dem Constraint „Verbindung“, ergeben sich neue Möglichkeiten der Interaktion. Ein Aufsetzen des Löschtokens auf eine Verbindung könnte diese unmittelbar löschen und würde so den notwendigen Interaktionsablauf massiv vereinfachen. Das mit diesem Constraint auch die Metapher des verwendeten Radiergummis sinnbringend verwendet wird, ist ein Nebeneffekt, der jedoch im TAC-Schema nicht repräsentiert wird. Vielmehr ist die Metaphorik Ausgangspunkt für eine sinnvolle und verständliche Auswahl möglicher Constraints für ein Token.

## 11.10. Einordnung in die Kategorien von TUI-Anwendungen

Grundlage der Einordnung in diesem Abschnitt ist der Ansatzes von (Klemmer et al., 2004), der in Abschnitt 7.2.10 beschrieben wurde.

### 11.10.1. Abbildung

Das Werkzeug weist Aspekte einer *spatial application* auf, da es die Platzierung von physischen Elementen auf einer Oberfläche als Grundlage der Interaktion mit dem System heranzieht. Da aber die Beziehung zwischen den Elementen sowohl für die Informationsrepräsentation als auch für die Steuerung des Systems wesentlich ist, ist auch eine Einordnung in die Kategorie *topological application* argumentierbar. Letzendlich referenzieren manche physische Elemente auch auf digitale Information, was das Kriterium für die Einordnung in die Kategorie *associative application* ist. Lediglich die Kategorie *Forms* trifft nicht auf das hier vorgestellte Werkzeug zu.

### 11.10.2. Bewertung

Das hier vorgestellte Werkzeug lässt sich nicht eindeutig einer der von Klemmer et al. (2004) identifizierten Applikations-Kategorien zuordnen. Die (von den Autoren als solche bezeichnete) „Taxonomie“ eignet sich demnach nicht, um komplexere Systeme zu klassifizieren, die sowohl Informationsrepräsentation als auch Systemsteuerung durch physische Elemente abwickeln.

## 11.11. Einordnung in die Taxonomie von Fishkin

Grundlage der Einordnung in diesem Abschnitt ist der Ansatz von (Fishkin, 2004), der in Abschnitt 7.2.11 beschrieben wurde.

### II.11.1. Abbildung

Das in dieser Arbeit entwickelte Werkzeug überspannt aufgrund seiner komplexen Struktur in beiden von Fishkin vorgeschlagenen Dimensionen zur Klassifikation von Tangible Interfaces mehrere Ausprägungen. Um eine umfassende und ins Detail gehende Einordnung vornehmen zu können, werden im Folgenden Einzelaspekte des Systems betrachtet und eingeordnet. Während die Dimension "Embodiment" bereits in Kapitel 9 betrachtet wurde, um eine strukturierte Zuordnung der Ausgabe-kanäle vornehmen zu können, werden hier die einzelnen Funktionalitäten des Systems (siehe Abschnitt 8.3) jeweils beiden Dimensionen zugeordnet (siehe Tabelle 11.3)

Tabelle 11.3.: Einordnung des Systems in die Taxonomie nach Fishkin

	Embodiment	Metaphor
Platzieren und Benennen von Modellelementen	distant, nearby (Tastatur), full (Haftnotiz)	verb (Tastatur), verb + noun (Haftnotiz)
Erstellen von Verbindern	nearby	verb bis noun+verb (Werkzeug- tokens), verb (räumliche Nähe)
Löschen von Verbindern	environmental bis nearby	noun
Einbetten von Information	full	noun + verb
Abrufen von Information	distant	verb
Erstellen von Snapshots	environmental bis nearby	none
Navigation in der Modell-Historie	distant	verb
Wiederherstellen eines Modell-Zustandes	nearby	noun + verb

Beim *Platzieren und Benennen von Modellelementen*, ist die Benennung auf zwei Arten möglich, die unterschiedlich in die Taxonomie einzuordnen sind. Bei Be-

nenennung mittels Auswahl und Tastatur ist durch die Projektion der Benennung die Embodiment-Ausprägung "nearby" zu wählen. Der Vorgang der Auswahl und Benennung kann als analog zur realen Welt gesehen werden, die eingesetzten Werkzeuge sind aber generischer Natur – Metaphor ist also als "verb" zu klassifizieren. Bei der Benennung mittels Haftnotitz ist durch die unmittelbar auf den Tokens angebrachten Benennungen Embodiment "full", Der Vorgang des Beschriftens wird analog zur realen Welt durchgeführt, auch die Informationsträger (Haftnotizen) entsprechen jenen der realen Welt, Metaphor ist also "verb + noun", wobei der notwendige Vorgang der expliziten Erfassung einer Beschriftung durch das System eine Klassifikation "full" verhindert und sogar die Einstufung "noun + verb" etwas abschwächt (keine Analogie des Vorgangs zur realen Welt).

Zur *Herstellung von Verbindern* existieren ebenfalls zwei Möglichkeiten. In beiden Fällen ist durch die Projektion der Verbindung die Ausprägung in Embodiment "nearby", sie unterscheiden sich jedoch hinsichtlich "Metaphor". Bei der Verwendung von Werkzeugtokens ist der Vorgang der Auswahl der Endpunkte analog zur realen Welt zu sehen und somit als "verb" einzustufen. Die Verwendung von spezifischen Werkzeugtokens zur Herstellung gerichteter Verbinder zeigt sogar Züge von "noun + verb", da die durch das Token dargestellte Pfeilspitze eine Analogie zur realen Welt bildet.

Das *Löschen von Verbindern* wird durch das Löscht-Token vorgenommen. Dieses ist durch einen Radiergummi symbolisiert, der jedoch nicht als solche eingesetzt wird sondern das System nur in einen Löschmodus versetzt. Die Klassifikation in Metaphor ist demnach "noun". Die Visualisierung des Löschezustandes erfolgt unspezifisch durch die Umfärbung der gesamten Tischoberfläche, womit ein Embodiment von "nearby" oder "environmental" (aufgrund der Unspezifität) gerechtfertigt wäre.

*Einbetten von Information* erfolgt durch die Verwendung der Modellierungstokens als Container und Hineinlegen von kleineren Tokens. Embodiment ist in diesem Fall "full", die die Einbettung physisch nachvollzogen wird. Metaphor ist durch die Analogie des "Hineinlegens" von Information in "Container" in die Ausprägung "noun + verb" einzuordnen.

Das *Abrufen von Information* wird über den sekundären Ausgabekanal abgewickelt und ist daher in Embodiment als "distant" einzuordnen. Der Vorgang des Herausnehmens von Information aus einem Container existiert analog zur realen Welt, das bei diesem Vorgang im Zentrum stehende Objekt, das einbettbare Token, ist jedoch generisch und weist nicht auf die Art der eingebetteten Information hin. Eine Klassifikation von "verb" in Metaphor erscheint daher gerechtfertigt.

Beim *Erstellen von Snapshots* wird die gesamte Tischoberfläche als Feedbackkanal genutzt. Insofern ist Embodiment wie im Falle des Löschens von Verbindern im

Bereich "environmental" bis "nearby" anzusiedeln. Das Snapshot-Token selbst ist ein generisches Objekt, das keine Analogie zur realen Welt aufweist. Metaphor ist daher "none".

Die *Navigation in der Modell-Hierarchie* erfolgt mit dem runden Navigations-Token. Zur Ausgabe der gespeicherten Modell-Zustände wird der sekundäre Ausgabekanal verwendet. Embodiment ist deshalb "distant". Metaphor beschränkt sich auf "verb", da der Drehvorgang zur Navigation analog zum Einstellen einer Uhr erfolgt, das Token selbst aber bis auf seine runde Form generisch ist.

Das *Wiederherstellen eines Modellzustandes* erfolgt durch spezifische Anweisungen auf der Modellierungsoberfläche. Embodiment ist also als "nearby" einzustufen. Der Vorgang der Wiederherstellung erfolgt durch Verschieben der Modellierungstokens, was im Wesentlichen analog zur realen Welt abläuft. Da unmittelbar die Objekte manipuliert werden, kann Metaphor als "noun + verb" eingestuft werden.

### II.11.2. Bewertung

Die Taxonomie nach Fishkin ermöglicht eine strukturierte Erfassung einzelner Aspekte eines Tangible User Interfaces. Eine aussagekräftige Gesamteinordnung ist nur bei einfachen TUIs möglich, komplexe, mit vielen Interaktionsmöglichkeiten ausgestattete Systeme tendieren dazu, ein sehr breites Spektrum der Taxonomie abzudecken. Für die detaillierte Betrachtung eines komplexen Gesamtsystems erscheint die Taxonomie dennoch geeignet, da einerseits aus den einzelnen Teileinordnungen für den jeweiligen Anwendungsfall ggf. Verbesserungspotentiale abgeleitet werden können und andererseits (nach der Betrachtung des hier entwickelten Systems) scheint, als ob die Taxonomie breit abdeckendes Gesamtsystem potentiell Inkonsistenzen im Interaktionsdesign aufweist bzw. unterschiedliche Interaktionsparadigmen vermischt wurden. Vor allem "Ausreißer" aus einem vorwiegend einheitlichen Gesamtbild scheinen einer näheren Betrachtung hinsichtlich eines möglichen Redesigns wert.

Konkret können diese Vermutungen im vorliegenden System vor allem an der Konzeption des Löschtokens und des Snapshot-Tokens festgemacht werden. Der Großteil der Interaktionen mit dem System beinhaltet in der Dimension Metaphor den "verb"-Aspekt (zu etwa gleichen Teilen ausschließlich und in der Kombination mit "noun"). Die Funktionalitäten, die die beiden erwähnten Tokens einbeziehen, laufen diesem Trend entgegen und zeigen in Metaphor die Ausprägung "noun" bzw. "none". Tatsächlich zeigt sich in der Praxis, dass die Anwendbarkeit dieser Tokens von Benutzern missverstanden bzw. nicht verstanden wird. Ein Redesign dieser Tokens mit expliziterer bzw. eher aktivitätsorientierter Metaphor erscheint deshalb untersuchenswert.

Zusammenfassend scheint die Taxonomie vor allem im Zusammenhang mit der Sicherung von konsistenter Interaktion an der Benutzungsschnittstelle sinnvoll anwendbar zu sein. Der Mehrwert des Ansatzes zeigt sich hier nicht so sehr in den absoluten Ausprägungen auf den beiden Dimensionen sondern vielmehr in den relativen Unterschieden, die zwischen den einzelnen Teilen des Tangible User Interfaces auftreten.

## **11.12. Betrachtung im Lichte der Retrospektive von Ishii**

Grundlage der Einordnung in diesem Abschnitt ist der Ansatzes von (Ishii, 2008), der in Abschnitt 7.2.13 beschrieben wurde.

### **11.12.1. Einordnung**

Ishii (2008) spricht in seiner umfassenden Darstellung der Entwicklung des Forschungsgebiets „Tangible User Interfaces“ eine Vielzahl von Aspekten an, die der Konzeptbildung im Gebiet dienlich sind. Er spart jedoch Ansätze aus, die analytisch oder von Seiten der Spezifikation an TUIs herangehen. Trotzdem ist eine Einordnung in die unterschiedlichen angesprochenen Aspekte zum Teil möglich. Ein Großteil der Ergebnisse wurden ob des zusammenfassenden Charakters des Artikels bereits in früheren Abschnitten bearbeitet und argumentiert. Diese werden hier nur noch zusammenfassen erwähnt.

Für die Einordnung des Systems in das MCRit<sup>5</sup>-Framework sei an dieser Stelle auf die bis auf die veränderte Nomenklatur identische Betrachtung des MCRpd-Frameworks in Abschnitt 11.6 verwiesen.

Hinsichtlich der Kategorisierung von TUIs ist das System identisch zu den in Abschnitt 11.7 Kategorien einzuordnen. Die bei (Ishii, 2008) angegebenen Kategorien stellen lediglich eine Erweiterung (bzw. Verbreiterung des Betrachtungsbereichs) der in (Ullmer et al., 2005) identifizierten Kategorien dar. Die zusätzlichen Kategorien haben jedoch für das hier vorgestellte Werkzeug keine Relevanz, so dass eine weiterführende Neubewertung unterbleiben kann.

Die von Ishii angeführten grundlegenden Eigenschaften und Merkmale eines TUI ermöglichen in Ermangelung der Angabe von konkreten Merkmalsausprägungen oder Beurteilungskriterien keine Einordnung des Werkzeugs. Die angegebenen Aspekte überschneiden sich jedoch stark mit den Eigenschaften und Merkmalen der

---

<sup>5</sup>Model-Control-Representation (intangible and tangible)

in Abschnitt II.1 und II.2 betrachteten Ansätze von (Fitzmaurice et al., 1995) und (Fitzmaurice, 1996).

### II.12.2. Bewertung

Die umfassende Retrospektive der Entwicklung des Forschungsgebiets der „Tangible User Interfaces“, die von (Ishii, 2008) vorgenommen wird, ermöglicht einen breiten Blick auf das aktuelle Feld und identifiziert außerdem nach wie vor offene Forschungs-Punkte. Für die Beurteilung eines TUI ist die Arbeit so wie die Ansätze, auf denen sie aufbaut und die sie integriert, nur bedingt geeignet. Dies liegt in der abstrakt-konzeptionell bleibenden Beschreibung der einzelnen Aspekte begründet, die nur bedingt eine argumentierbare Einordnung ermöglichen. Detailspekte eines Systems bleiben unberücksichtigt, Ziel des Artikels ist es nicht, eine Analyse- oder Spezifikationsframework einzuführen (tatsächlich wird dies als eine der offenen Forschungspunkte genannt).

Für das Werkzeug können aus oben genannten Gründen aus der Betrachtung im Lichte dieses Ansatzes keinerlei Potentiale für Verbesserung abgeleitet werden. Die mögliche globale Einordnung des Gesamtsystems wurde bereits in anderen Abschnitten auf Basis der diesem Ansatz zugrunde liegenden Arbeiten vorgenommen und bringt an dieser Stelle keine neuen Erkenntnisse.

### II.13. Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurde das hier vorgestellte Werkzeug in die in Abschnitt 7.2 beschriebenen Ansätze zur konzeptionellen Betrachtung eines Tangible User Interface eingeordnet. Damit wurden zwei Zielsetzungen verfolgt. Einerseits sollten die vorgestellten Ansätze hinsichtlich ihrer grundsätzlichen Eignung zur und Ausdruckstärke bei der Beschreibung eines Tangible User Interfaces überprüft werden. Andererseits sollte aus der strukturierten konzeptionellen Betrachtung des Werkzeugs mögliche Inkonsistenzen in Design und Implementierung identifiziert werden und ggf. daraus Maßnahmen zur Verbesserung des Werkzeugs abgeleitet werden. Diese beiden Aspekte werden in den folgenden beiden Abschnitten getrennt betrachtet.

#### II.13.1. Eignung der konzeptionellen Ansätze zur Beschreibung

#### II.13.2. Verbesserungspotential für das Werkzeug



## **I 2. Überblick über die empirische Untersuchung**

In diesem Kapitel wird ein Überblick über die in dieser Arbeit durchgeführte empirische Untersuchung gegeben. Dabei wird auf die einzelnen zu untersuchenden Aspekte, deren theoretische Grundlagen und die Durchführung der Untersuchung gegeben.

Die im Rahmen der empirischen Evaluierung zu untersuchenden Aspekte sind Gegenstand des ersten Abschnitts. Neben einer wiederholenden grundlegenden Betrachtung werden hier die jeweiligen Untersuchungsfragen festgelegt. Eine nähere Betrachtung der einzelnen Aspekte, die Festlegung der Methodik und deren Operationalisierung im Rahmen des konkreten Untersuchungsdesigns erfolgt im Rahmen der übrigen Kapitel in diesem Teil der Arbeit.

Im zweiten Abschnitt wird ein Überblick über das globale Untersuchungsdesign gegeben. Auf Basis der zu evaluierenden Aspekte werden die konkret durchgeführten Teile der Evaluation (im Folgenden: "Evaluierungsblöcke") beschrieben und den Aspekten zugeordnet. Diese Evaluierungsblöcke werden überblicksweise hinsichtlich der intendierten Ziele, der Aufgabenstellung und der jeweiligen Anzahl der Teilnehmer beschrieben. Die Beschreibung bildet die Grundlage für die Beschreibung der Evaluierung der zu prüfenden Aspekte in den folgenden Kapiteln.

### **I 2.1. Untersuchungsaspekte**

Ziel dieser Arbeit ist die Unterstützung von expliziter Articulation Work. Eine Möglichkeit, explizite Articulation Work zu unterstützen, ist die Externalisierung und Abstimmung der mentalen Modelle über den betreffenden Arbeitsvorgang, die den Handlungen der beteiligten Personen zugrunde liegen (siehe Kapitel XY). Die Externalisierung mentaler Modelle ist mittels unterschiedlicher Methoden möglich, wobei sich Ansätze, die auf der Abbildung mentaler Modelle in diagrammatischen Strukturen basieren, als gut geeignet erwiesen haben (siehe Kapitel XY). Zwei derartige Methoden sind Concept Mapping und Strukturlegetechniken, die beide Vor- und Nachteil hinsichtlich des Einsatzes in kollaborativen Szenarien zeigen (siehe

Kapitel XY). In dieser Arbeit wird deshalb versucht, die Vorteile der beiden Ansätze methodisch zu vereinigen und zur Vermeidung der Nachteile durch ein Tabletop Interface zu unterstützen (siehe Kapitel XY).

Anhand dieser Argumentationskette zeigt sich, dass zwischen der Zielformulierung und dem konkreten Werkzeug zur Zielerreichung einige argumentative Schritte liegen, die vorerst lediglich (aus der Literatur begründete) Annahmen darstellen. Im Zuge der Evaluation der Ergebnisse dieser Arbeit müssen nun diese Schritte einzeln betrachtet werden und hinsichtlich der jeweiligen Zielerreichung überprüft werden. Untersuchungsgegenstand ist dabei jeweils das erstellte Werkzeug, die betrachteten Aspekte unterscheiden sich je nach Argumentationsschritt. Die Untersuchungsfragen, die die Argumentationsschritte abdecken sind:

- Unterstützen Werkzeug und Methode Articulation Work? (Aspekt: Werkzeug)
- Erlauben Werkzeug und Methode die Abbildung semantisch offener diagrammatischer Modelle? (Aspekt: Modell)
- Sind das Werkzeug und dessen Komponenten verständlich und wie intendiert einsetzbar? (Aspekt: Articulation Work)

Diese Fragen decken die Aspekte der oben beschriebene Argumentationskette ab, die Detaillierung der Fragestellungen ist in den folgenden Abschnitten beschrieben. Die Beschreibung der zu prüfenden Hypothesen sowie die Operationalisierung der Untersuchungsfragen erfolgt in den Kapitel XY bis XY.

### **12.1.1. Evaluierung des Werkzeugs**

Die Evaluierung des Werkzeugs an sich beschäftigt sich mit der Beantwortung der dritten Untersuchungsfrage. Diese zielt auf die Verständlichkeit des Werkzeugs im weiteren Sinn ab. Unter Verständlichkeit im weiteren Sinn ist hier zu verstehen, dass einerseits geprüft werden muss, ob die Bedeutung und grundlegende Verwendung der Komponenten des Werkzeugs von Benutzern erfasst und verstanden werden und ob andererseits die Interaktionsabläufe, die zur Auslösung bzw. Abwicklung einer Funktion des Werkzeugs führen, für Benutzer verständlich und nachvollziehbar sind. Mögliche Metriken sind hier die Faktoren zur Evaluierung interaktiver Systeme nach Shneiderman (REF).

Neben der quantitativen Bewertung anhand dieser Metriken ist bei der Untersuchung dieses Aspektes vor allem auch das qualitative Feedback der Benutzer notwendig, um Ansatzpunkte zur Verbesserung der Verwendbarkeit des Werkzeugs zu erhalten. Diese Anregungen können im Sinne eines iterativen Designprozesses umgesetzt und deren Auswirkungen erneut einer Evaluierung unterzogen werden. Neben der Erhebung dieser zusätzlich funktionalen Anforderungen für einen iterati-

von Designprozess sind in diesem Zusammenhang auch Hinweise hinsichtlich nicht-funktionaler Aspekte des Systems zu berücksichtigen, die der Verwendbarkeit negativ beeinflussen bzw. auch unkritisch sein können.

Die Verwendbarkeit des Werkzeugs kann nicht entkoppelt von der Anwendungsdomäne betrachtet werden, muss also im Kontext der Aufgabe, für die es eingesetzt wird, gesehen werden. Das Werkzeug ist zwar grundsätzlich für die Repräsentation beliebiger diagrammatischer Modelle ausgelegt, eignet sich aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen jedoch nicht gleich gut für alle möglichen Anwendungsfälle (so sind z.B. ausschließlich Verbindungen mit zwei Endpunkten erstellbar, Verbindung mit mehr Endpunkten werden nicht unterstützt). Die Prüfung der Verwendbarkeit des Werkzeugs kann hier fokussiert auf die in dieser Arbeit verfolgten Anwendungsfälle durchgeführt werden, die im Bereich der konzeptionellen Netze (im Wesentlichen Varianten von Concept Maps) und im Bereich der Abbildung von Arbeitsvorgängen (im Wesentlichen kausale Zusammenhänge mit Kontextinformation) zu finden sind. Die Unterstützung anderer Anwendungsfälle ist möglich und unter Umständen erstrebenswert, stellt jedoch kein Beurteilungskriterium dar.

### 12.1.2. Evaluierung der Modellrepräsentationen

Der zweite zu evaluierende Aspekt sind die mit dem Werkzeug erstellten Modelle, die als Mittel zur Durchführung expliziter Articulation Work dienen. Eine wesentliche Eigenschaft, die Modelle dabei aufweisen müssen, ist die Adäquatheit der Modellierungssprache hinsichtlich der durch die Benutzer zu repräsentierenden Information. Diese Eigenschaft wird in der vorliegenden Arbeit durch den in Kapitel XY beschriebenen Ansatz der semantischen Offenheit abgedeckt, der jedoch vor allem hinsichtlich der intersubjektiven Verständlichkeit der Modelle und deren Eindeutigkeit nicht nur Vorteile bringt. Grundlegende ist in dieser Phase zu evaluieren, ob die erstellten Modelle den im Rahmen des Einsatzes zur Unterstützung von Articulation Work intendierten Zweck erfüllen. Dabei sind sowohl das Modell als auch das (hier von den Benutzern festgelegte) Metamodell zu betrachten. Anhaltspunkte zur Identifikation der zu evaluierenden Objekte sowie zum Vorgehen bieten hier der Ansatz der "Interactive Process Models" (Jørgensen, 2004) und die "Grundsätze der ordnungsgemäßen Modellierung" (Becker et al., 2000) sowie von diesen Arbeiten abgeleitete Ansätze.

Die eben beschriebenen Ansatzpunkte erlauben eine Evaluierung der erstellten Modelle hinsichtlich der Abbildbarkeit der Kernaspekte von "Articulation Work" im engeren Sinne (Strauss' "salient dimensions": "*who, where, when, what and how*" (Fjuk et al., 1997)), decken also im Wesentlichen eine an organisationalen Abläufen orientierten Sicht auf Modelle ab. Im Sinne der Offenheit der Abbildung müssen

aber auch Modelle berücksichtigt werden, die nicht diese "salient dimensions" zur Grundlage haben, also "Concept Maps" (Novak und Cañas, 2006) im allgemeinen Sinn sind und damit die Abbildung mentaler Modelle nicht nur über unmittelbare Arbeitsaspekte sondern über beliebige Sachverhalte erlauben (Ifenthaler, 2006). Dabei sind Metriken notwendig, die die erstellten Modelle selbst betrachten und deren Eigenschaften und Verwendung beim Concept Mapping bzw. im Rahmen von Strukturlegetechniken berücksichtigen.

Wie bereits im letzten Abschnitt angeführt, ist auch bei diesem Aspekt der Evaluierung der in dieser Arbeit verfolgte Anwendungszweck des Werkzeugs (bzw. hier: der Modelle) zu berücksichtigen. Dies ist insofern ein einschränkender Faktor, als dass hier Modelle lediglich im Kontext der Externalisierung mentaler Modelle und zur Unterstützung von Articulation Work berücksichtigt werden. Das Werkzeug selbst erlaubt auch die Erstellung von Modellen zu anderen Anwendungszwecken, die jedoch hier nicht weiter berücksichtigt werden.

### **12.1.3. Evaluierung der Articulation Work**

Letztendlich muss auch die durchgeführte Articulation Work selbst beurteilt werden. In der Literatur zum Thema "Articulation Work" werden zumeist lediglich das Phänomen "Articulation Work" und dessen konkrete Ausprägungen beschrieben (siehe Kapitel XY), Ansätze zur Bewertung des Erfolgs von Articulation Work sind jedoch selten zu finden. Aus der Verschränkung zwischen Articulation Work und Production Work, also jenem Anteil der Arbeit, der unmittelbar der Zielerreichung dient, die von mehreren Autoren, unter anderem (Fujimura, 1987) und (Strauss, 1993), erwähnt wird, lassen sich jedoch Ansatzpunkte ableiten.

Articulation Work tritt immer dann auf, wenn eine Zielerreichung in der Production Work aufgrund von Unklarheiten oder Problemen zwischen den beteiligten Individuen nicht möglich ist. Ein erfolgreicher Abschluss der Production Work bei am Beginn oder während der Arbeit bestehenden Unklarheiten weist also unter Umständen auf erfolgreich durchgeführte Articulation Work hin. Articulation Work manifestiert sich im Arbeitsprozess auf unterschiedliche Arten, so dass bei der Evaluierung hinsichtlich der Auswirkungen des Werkzeugs diese von den übrigen Einflussfaktoren (also auf anderen Wegen durchgeführte Articulation Work) getrennt werden muss. Dazu ist eine Betrachtung des gesamten Arbeitsablaufs unter Berücksichtigung von Production und Articulation Work notwendig. Metriken, die bei der Bewertung des Erfolgs von Articulation Work zu berücksichtigen sind, sind also einerseits im Ergebnis des Arbeitsprozesses, andererseits auch im Arbeitsprozess selbst zu finden.

Ein zweiter Ansatzpunkt zur Bewertung des Erfolgs von Articulation Work liegt in den Aussagen von Strauss (1993) hinsichtlich der wahrgenommenen "Problematik" einer Arbeitssituation, die Articulation Work notwendig macht. Diese Wahrnehmung ist individueller Natur, d.h. Articulation Work ist dann notwendig, wenn zumindest einer am Arbeitsablauf beteiligten Person Aspekte der Arbeit unklar sind oder problematisch erscheinen. Im Gegenzug ist keine Articulation Work notwendig bzw. diese abgeschlossen, wenn alle beteiligten Personen die Situation als unproblematisch empfinden bzw. mit den im Rahmen der (expliziten) Articulation Work erzielten Ergebnissen zufrieden sind. Hier liegt der Ansatzpunkt für eine Evaluierung des Erfolgs der durchgeführten Articulation Work, der auf diese auf Basis der individuellen Wahrnehmungen der beteiligten Personen beurteilt.

## **12.2. Globales Untersuchungsdesign**

Die oben beschriebenen Aspekte müssen nun im Rahmen einer empirischen Untersuchung getestet werden. Während die detaillierten Untersuchungsdesigns in den folgenden Kapiteln, die sich jeweils einem der drei zu evaluierenden Aspekte widmen, beschrieben werden, wird an dieser Stelle ein Überblick über das globale Untersuchungsdesign und die im Rahmen der Evaluierung durchgeführten Anwendungen des Werkzeugs gegeben.

Im ursprünglichen globalen Untersuchungsdesign war vorgesehen, jedem der zu untersuchenden Aspekte einen Block an Anwendungen des Werkzeugs mit einer auf den jeweiligen Aspekt abgestimmten Aufgabenstellung zuzuordnen. Nach Durchführung der ersten beiden Blöcke wurde offensichtlich, dass sich während der Evaluierung zusätzlich Hypothesen zu einem Aspekt bildeten, die – um sie in die Evaluierung einfließen zu lassen – in einem späteren Block getestet werden mussten. Außerdem wurde offensichtlich, dass vor allem zur Evaluierung des Werkzeugs in allen Blöcken Verbesserungspotential identifiziert werden konnte bzw. Anregungen der Anwender rückgemeldet wurden, die zum Teil im Rahmen des iterativen Entwicklungsprozesses in das Werkzeug einfließen und entsprechend in einem späteren Block erneut getestet werden musste.

Letztendlich wurden die Blöcke, sofern die jeweilige Aufgabenstellung geeignet war, für die Evaluierung mehrerer bzw. aller Aspekte herangezogen. Bei der nun folgenden Beschreibung der Anwendungs-Blöcke wird deshalb jeweils angegeben und begründet, inwieweit diese in die Evaluierung welcher Blöcke einfließen. Ein Überblick über das globale Untersuchungsdesign mit einer erneuten, überblicksweisen Zuordnung zwischen den zu evaluierenden Aspekten und den Anwendungsblöcken wird in Abschnitt 12.4 gegeben.

### **12.2.1. Block I: Technische Evaluierung**

Die Intention von Block I war die grundlegende Verständlichkeit und Verwendbarkeit des Werkzeugs zu klären. Fokus dieses Blocks an Anwendungen des Werkzeugs war also die Untersuchung der Eigenschaften des Werkzeugs selbst. Zusätzlich sollte explorativ Hypothesen für die übrigen zu evaluierenden Aspekte gebildet werden.

#### **Kontext**

Die Untersuchung wurde im Rahmen einer Diplomarbeit durchgeführt (REF Bohninger), wobei die Untersuchungen in keinen einheitlichen realen Arbeitskontext eingebettet waren. Allerdings war die Aufgabenstellung so formuliert, dass die erstellten Modelle aus den Arbeitskontexten der jeweiligen Teilnehmer stammten.

#### **Aufgabenstellung und Ablauf**

Den modellierenden Teilnehmern wurde mitgeteilt, dass sie einen Aspekt aus ihrem täglichen Arbeits- oder Privatleben abbilden sollten, der regelmäßig auftritt oder bereits mehrmals für Probleme sorgte. Die bewusste Offenheit der Aufgabenstellung sollte dabei bewirken, dass sich die Teilnehmer nicht zu sehr auf den abzubildenden Sachverhalt, sondern eher auf den Abbildungsprozess selbst fokussierten.

Nur die Hälfte der Teilnehmer erstellte Modelle. Die zweite Hälfte wurde zur Überprüfung der Verständlichkeit der Modelle sowie der Verwendung des Werkzeugs zur kollaborativen Modellierung herangezogen. Dazu wurde nach Abschluss einer Modellbildung jeweils ein nicht modellierender Teilnehmer an die Modellierungsoberfläche gebeten und gebeten, die Abbildung zu interpretieren. Die Beurteilung der Adäquatheit dieser Interpretation erfolgte durch den modellierenden Teilnehmer.

In einer dritten Phase wurden beide Teilnehmer aufgefordert, dass Modell gemeinsam zu reflektieren und gegebenenfalls zu verändern, um es den Ergebnissen der Reflexion anzupassen. In dieser Phase war das vorrangige Ziel, die Verwendung des Werkzeugs bei der Veränderung von Modellen und dessen kollaborativer Anwendung zu testen.

#### **Anwendungen und Teilnehmer**

Insgesamt wurden neun Anwendungen des Werkzeug wie oben beschrieben durchgeführt. Zusätzlich wurde das Untersuchungsdesign im Rahmen von drei Anwendungen getestet (Pretest), woraus hinsichtlich der technischen Eigenschaften des

Werkzeugs ebenfalls bereits Erkenntnisse gewonnen werden konnten. Insgesamt nahmen also 24 Personen an diesem Block von Anwendungen teil, 6 davon in der Pretest-Phase.

Die Teilnehmer stammten aus unterschiedlichen beruflichen Hintergründen (DETAILS) und unterschieden sich auch in Art der höchsten abgeschlossenen Ausbildung (DETAILS). Die Altersspanne lag zwischen XY und XY Jahren, XY Teilnehmer waren weiblich, XY männlich.

Die Modellierungsphasen dauerten im Schnitt XY Minuten, die kürzeste Modellbildung dauerte XY Minuten, die längste XY Minuten. Die Interpretations- und Reflexionsphasen (nicht separat aufschlüsselbar, da zum Großteil ineinander übergehend) dauerten im Schnitt XY Minuten.

### **Verwendung der Ergebnisse**

Die Ergebnisse dieses Blocks flossen in die Evaluierung des Werkzeugs und in die Hypothesenbildung hinsichtlich der erstellten Modelle ein. Für die Evaluierung der Modelle konnten erste Erkenntnisse hinsichtlich der Verständlichkeit der mittels offener Semantik gewonnen werden. Keine Ergebnisse brachte dieser Block für die Evaluierung der durchgeführten Articulation Work.

## **12.2.2. Block 2: Aushandlung von Zusammenarbeit I**

In Block 2 lag der Fokus der Evaluation erstmals auf der Unterstützung von Articulation Work. In diesem Rahmen wurden auch die Verwendbarkeit des Werkzeugs im praktischen Anwendungskontext und die Eigenschaften der erstellten Modelle sowie deren Rolle im Prozess der expliziten Articulation Work untersucht.

### **Kontext**

Block 2 wurde im Rahmen eines Seminars aus Wirtschaftsinformatik mit Studierenden derselben Studienrichtung durchgeführt. Die im Seminar zu erstellenden wissenschaftlichen Arbeiten wurden von den Studierenden in Gruppen zu 2-3 Personen ausgearbeitet. Die Gruppen wurden so gebildet, dass sich die Teilnehmer nicht persönlich kannten oder zumindest nicht bereits in anderen Kontexten zusammengearbeitet hatten. Ziel dieser Maßnahme war die Vermeidung der Verfälschung der Untersuchungsergebnisse durch bereits eingespielte Gruppen (Erfahrungen in Seminaren der Vorjahre zeigen tendentiell schlechtere Ergebnisse bei der Zusammenarbeit von einander nicht persönlich bekannten bzw. nicht eingespielten Teilnehmern).

Im Rahmen des Seminars wurden sechs Forschungsgebiete ausgewählt, die in Zusammenhang mit der Erstellung und Verwendung sozio-technischer Systeme stehen (konkret: Organisationales Lernen, eLearning, CSCW<sup>1</sup>, Mentale Modelle, Articulation Work und semantische Contentanreicherung). Den Gruppen wurden jeweils zufällig zwei dieser Themen zugewiesen, die Aufgabe für die wissenschaftliche Arbeit war das Finden und Beschreiben einer möglichen Verknüpfung oder eines möglichen Zusammenhanges zwischen diesen Themen. Dieser Zusammenhang sollte im Zentrum der Seminararbeit stehen und aus beiden Grundlagen-Themen argumentiert sein. Ziel dieser Maßnahme war es, die Seminararbeit so offen wie möglich zu gestalten und einen Themenfindungs bzw. -konkretisierungsprozess in den Ablauf zu integrieren. Außerdem wurde so ein Setting geschaffen, in dem eine strikte Arbeitsteilung der Gruppenteilnehmer ohne weitere Zusammenarbeit sich tendentiell stark auf das Ergebnis auswirkt und sich konkret der fehlenden oder schwachen Verknüpfung der Grundlagen-Themen zeigt.

### **Aufgabenstellung und Ablauf**

Das Werkzeug wurde im Rahmen des Seminars für jede Gruppe zweimal eingesetzt. Die erste Anwendung fand zu Beginn des Seminars nach der Themenzuteilung statt. Die Aufgabe war die Aushandlung der Modalitäten der Zusammenarbeit mit der Zielsetzung, dass an der resultierenden wissenschaftlichen Arbeit die Ko-Autorenschaft nicht mehr zu erkennen sein sollte (etwa durch plötzlich wechselnde Schreibstile oder Brüche in der Argumentationskette). Den Teilnehmern wurde das Werkzeug und dessen Funktionen vorgestellt und ohne weitere Vorgaben zur Verfügung gestellt (insbesondere wurden weder Vorgaben hinsichtlich der Topologie des zu erstellenden Modells oder der Bedeutung der Modellierungselemente gemacht).

In der zweiten Anwendung wurde der Zusammenarbeitsprozess reflektiert und gegebenenfalls eine Adaption vereinbart. Die zweite Anwendung fand in der Mitte des Semesters nach Abschluss der Literaturrecherche und der Grobkonzeption, aber vor der Erstellung der eigentlichen wissenschaftlichen Arbeit statt. Konkrete Zielsetzung für die Teilnehmer war hier, auf Basis der bisherigen Erfahrungen die weitere Zusammenarbeit zu vereinbaren. Das Werkzeug wurde ohne neuerliche Vorstellung und ohne Vorgaben zur Verfügung gestellt.

### **Anwendungen und Teilnehmer**

---

<sup>1</sup>Computer Supported Cooperative Work



Insgesamt nahmen an diesem Block 19 Personen in 9 Gruppen zu 2 bzw. einmalig 3 Personen teil. Jede der Gruppen setzte das Werkzeug zweimal ein, wodurch insgesamt 18 Anwendungen die Grundlage für die Auswertung der Ergebnisse bilden.

Die Teilnehmer waren allesamt Studierende der Wirtschaftsinformatik im zweiten Studienabschnitt. 18 Personen waren männlich, eine weiblich. Vier Personen hatten insofern Erfahrung mit wissenschaftlichen Arbeiten bzw. den konkreten Anforderungen in der betreffenden Lehrveranstaltungen, als dass sie bereits zuvor eine Lehrveranstaltung gleichen Typs besucht hatten.

In der ersten Runde dauerten die Anwendungen durchschnittlich XY Minuten, in der zweiten Runde lediglich XY Minuten.

### **Verwendung der Ergebnisse**

Die in diesem Block erhobenen Daten fließen in die Auswertung aller drei zu evaluierenden Aspekte ein. Zur Auswertung hinsichtlich des Erfolgs von Articulation Work liegen neben den Aufnahmen der Modellierungsvorgänge und den erstellten Modellen selbst auch Prozessreflexionen der Teilnehmer über den Erstellungsprozess der Seminararbeiten sowie die Seminararbeit ansich vor. Die Auswirkungen von Articulation Work können also am Ergebnis (im Vergleich zu Ergebnissen auf Lehrveranstaltungen mit identischem Konzept) und am subjektiv wahrgenommenen Verlauf des Erstellungsprozesses der Arbeit bewertet werden.

Hinsichtlich der Auswertung des Modell-Aspektes wird durch diesen Block die Betrachtung von Modellen ermöglicht, die im Kontext der Arbeitsabstimmung erstellt wurden, also im Wesentlichen der Definition von Vorgehen und Schnittstellen dienen. Untersucht werden hier Aufbau und Inhalt der Modelle, wobei besonderes Augenmerk auf den Prozess und das Ergebnis der Bedeutungszuweisung zu den Modellelementen liegt.

Im Rahmen der Werkzeug-Evaluation bringt dieser Block die ersten Hinweise auf die Anforderungen an das Werkzeug bei der Verwendung desselben im Rahmen einer realen Aufgabenstellung. Außerdem wurde in diesem Block erstmals ein durchgängig kollaboratives Szenario eingesetzt, bei dem immer mindestens zwei Personen gleichzeitig das Werkzeug verwenden.

### **12.2.3. Block 3: Concept Mapping I**

Der Fokus von Block 3 lag auf der Erstellung von semantisch vernetzten Strukturen im Allgemeinen, wobei das Konzept der Concept Maps als ein etabliertes Werkzeug zur Externalisierung mentaler Modelle eingesetzt wurde. Inhaltlich fokussierte dieser Block nicht auf die Unterstützung von Articulation Work im engeren Sinne, wohl

aber auf die Externalisierung und Abstimmung mentaler Modelle, was wiederum wie in Kapitel XY beschrieben ein Mittel zur Unterstützung expliziter Articulation Work ist. Im Zentrum der Aufmerksamkeit steht in diesem Block also die Evaluierung der erstellten Modelle und der Nutzen des Werkzeugs zur Aushandlung einer einheitlichen auf einen gegebenen Sachverhalt.

## **Kontext**

Der dritte Block wurde im Rahmen einer Lehrveranstaltung zur Schulung von Methoden der Prozess- und Kommunikationsmodellierung durchgeführt. Diese Lehrveranstaltung ist Teil der im Curriculum definierten Basiskompetenz Wirtschaftsinformatik und wird von Studierenden im zweiten bis dritten Studiensemester besucht.

Im Rahmen der Lehrveranstaltung wurden drei unterschiedliche Prozessmodellierungssprachen (SeeMe (Herrmann et al., 2004), Subjekt-orientierte Modellierung mittels JPass REF und EPK<sup>2</sup>s aus dem ARIS-Konzept (Scheer und Nuettgens, 2000)) eingeführt und praktisch an einem durchgängigen Beispiel angewandt. Diese Sprachen unterscheiden sich sowohl im Anwendungsgebiet, in den abgebildeten Aspekten des realen Prozesses sowie in der Darstellungsform des Modells. Ziel der letzten Teilaufgabe, die unter Einsatz des hier vorgestellten Werkzeugs durchgeführt wurde, war bei den Studierenden ein Verständnis für die Unterschiede und Gemeinsamkeiten zwischen diesen Sprachen zu erzeugen und sie in die Lage zu versetzen, für einen gegebenen Anwendungsfall eine adäquate Sprache auszuwählen.

## **Aufgabenstellung und Ablauf**

Die Aufgabe zur Erstellung der Concept Map umfasste zwei Teile, wobei im zweiten Teil das Tabletop Interface eingesetzt wurde. Die Aufgabenstellung lautete in beiden Teilen, eine Concept Map zu erstellen, die die wesentlich erscheinenden Eigenschaften der vorgestellten Sprachen sowie deren Gemeinsamkeiten und Unterschiede darstellt. In der ersten Phase war diese Aufgabe von den Studierenden individuell zu lösen, wobei die Concept Map auf Papier oder mit Hilfe des Werkzeugs CMapTools<sup>3</sup> (Cañas et al., 2004) am Rechner erstellt werden konnte.

In der zweiten Phase wurden Gruppen zu je drei Teilnehmern gebildet, die nun ihre individuellen Sichten konsolidieren und jeweils eine gemeinsame Concept Map zur gleichen Aufgabenstellung unter Einsatz des hier vorgestellten Werkzeugs erstellen sollten. Die Gruppen wurden zufällig zusammengesetzt, den Teilnehmern

---

<sup>2</sup>Ereignisgesteuerte Prozesskette

<sup>3</sup><http://cmap.ihmc.us>

war während der individuellen Phase die Zuteilung nicht bekannt, so dass eine Abstimmung vor Anwendung des Werkzeugs weitgehend ausgeschlossen werden kann.

### **Anwendungen und Teilnehmer**

An den Anwendungen, die in diesem Block durchgeführt wurden, nahmen insgesamt 54 Personen teil, die in 18 Gruppen einmalig mit dem Werkzeug arbeiteten. Alle Teilnehmer waren Studierende der Wirtschaftsinformatik im ersten Studienabschnitt (1-4 Semester), 8 waren weiblich, 46 männlich. Keinem der Teilnehmer war der Ansatz des Concept Mapping vor Beginn der betreffenden Aufgabe bekannt, Erfahrungen mit Prozessmodellierungssprachen (also dem Gegenstand der Concept Map) sammelten alle Teilnehmer erstmals im Rahmen der Lehrveranstaltung, in der dieser Evaluierungs-Block durchgeführt wurde.

Den Teilnehmern wurde das Werkzeug vor Beginn der Anwendung demonstriert und in sämtlichen Anwendungsaspekten erklärt. Die Anwendungen selbst dauerten durchschnittlich XY Minuten, wobei die kürzeste Anwendung XY Minuten, die längste XY Minuten dauerte.

### **Verwendung der Ergebnisse**

Die Daten, die aus diesem Block gewonnen werden konnten, gehen in die Evaluierung des Modell-Aspekts ein. Hier können einerseits wiederum die erstellten Modelle hinsichtlich Struktur, Inhalt und semantischen Zuweisungen untersucht werden. Der Modellierungsgegenstand ist in diesem Fall jedoch anders gelagert als im vorhergehenden Fall, anstelle einer Arbeitsabstimmung ist hier ein Vergleich von Konzepten durchzuführen. Andererseits können hier die Abstimmungsprozesse der individuellen mentalen Modelle insofern betrachtet werden, als dass für jede Gruppe neben dem kollaborativ erstellten Ergebnis auch noch die individuellen Concept Maps vorliegen und ausgewertet werden können.

Wie bereits in den zuvor beschriebenen Blöcken können auch hier wieder Erkenntnisse hinsichtlich der Verwendung des Werkzeugs gewonnen werden. Aufgrund der der Aufgabe innewohnenden Wichtigkeit der Verbindungen zwischen Konzepten wird vor allem deren Verwendung bzw. der Vorgang deren Erstellung zu betrachten sein.

Der Aspekt Articulation Work bleibt in diesem Block im engeren Sinne außen vor, als dass kein Arbeitskontext vorliegt, keine aufzulösende Problematik vorliegt und keine Zusammenarbeit auszuhandeln ist. Insofern wird dieser Aspekt in diesem Block nicht explizit behandelt. Aufgrund der Durchführung sämtlicher Schritte, die zur Unterstützung expliziter Articulation Work notwendig sind (Externalisierung,

Abstimmung) können aber die einzelnen Anwendungen zur Hypothesenbildung für den Evaluierungs-Aspekt Articulation Work herangezogen werden.

#### **12.2.4. Block 4: Aushandlung von Zusammenarbeit 2**

Block 4 deckt die erste Anwendung des Werkzeugs im realen Unternehmenskontext ab. Im Rahmen einer Diplomarbeit REF wurde das Werkzeug im Rahmen eines Workshops einer Abteilung des betreffenden Unternehmens angewandt.

##### **Kontext**

Das Unternehmen, in dem das Werkzeug angewandt wird, ist im Bereich XY tätig und hat XY Mitarbeiter. Die Abteilung, im Rahmen deren Workshop die Anwendung durchgeführt wurde, ist im Unternehmen für XY zuständig und hat XY Mitarbeiter. Der Workshop hatte das Ziel ... und wurde von der Abteilungsleitung in Hinblick auf diese Aufgabenstellung konzipiert. Das Problem dieser Abteilung ist ... Um diese Problematik aufzulösen, wurde das Werkzeug zur Unterstützung eingesetzt.

##### **Aufgabenstellung und Ablauf**

exakter Ablauf bzw. Aufgabenstellung noch offen

##### **Anwendungen und Teilnehmer**

einmalige Anwendung, Teilnehmer offen

##### **Verwendung der Ergebnisse**

Die Daten, die das Ergebnis dieses Blocks bilden, werden zur Evaluierung des Aspekts Articulation Work eingesetzt. Betrachtet werden dabei die wahrgenommenen und beobachtbaren Veränderungen am Arbeitsprozess, der unter Einsatz des Werkzeugs reflektiert wurde.

Neben diesem Aspekt wird auch das erstellte Modell, das in diesem Fall wieder aus der Domäne der Arbeitsabstimmung stammt, betrachtet und hinsichtlich seiner Struktur und Semantik ausgewertet.

Der Werkzeug-Aspekt wird in diesem Teil der Untersuchung nicht gesondert betrachtet, Verbesserungs- und Erweiterungspotential wird nur bei Erwähnung oder of-

fensichtlichen Bedienungsfehlern bzw. Verständnisschwierigkeiten explizit identifiziert.

### **12.2.5. Block 5: Concept Mapping 2**

In Block 5 wird im Wesentlichen der Evaluierungs-Block 3 (siehe Abschnitt 12.2.3) inhaltlich erneut durchgeführt (die Modellierungsaufgabe ist identisch). Im Gegensatz zu Block 3, wo die grundlegende Eignung des Werkzeugs zum Concept Mapping im Mittelpunkt stand, wird in Block 5 eine vergleichende Studie durchgeführt, die die Eignung des Tabletop Interfaces zum kollaborativen Concept Mapping mit jener der rechner-basierten CMapTools (Cañas et al., 2004) vergleicht.

#### **Kontext**

Die Anwendungssituation ist in diesem Block identisch mit dem in Abschnitt 12.2.3 beschriebenen Kontext (Lehrveranstaltung im Curriculum Wirtschaftsinformatik zur Schulung von Ansätzen in der Prozess- und Kommunikationsmodellierung).

Der Ablauf der Lehrveranstaltung unterschied sich nur insofern von jenem in Block 3, als dass für jene Modellierungssprache separat eine Reflexion in Gruppen zu zwei Studierenden durchgeführt wurde. In diesen Reflexion wurden die eigenen Anwendungen der jeweiligen Sprache mit einer Musterlösung gegenübergestellt und hinsichtlich ihrer Korrektheit und dem Vorgehen bei der Modellierung betrachtet.

#### **Aufgabenstellung und Ablauf**

Die Aufgabenstellung ist identisch mit jener in Block 3. Ziel ist es, die drei vorgestellten Prozessmodellierungssprachen hinsichtlich ihrer als wesentlich empfundenen Eigenschaften und deren Gemeinsamkeiten und Unterschiede zu betrachten und in einer Concept Map abzubilden. Das Vorgehen unterscheiden sich jedoch wegen der unterschiedlichen Zielsetzung der Untersuchung von jenem in Block 3.

Nach Abschluss der letzten Reflexionsphase (also nach drei Modellierungsphasen und drei Reflexionsphasen) wurde eine Gruppeneinteilung für die kollaborative Erstellung der Concept Map vorgenommen. Die Gruppen wurden aus jeweils zwei zufällig ausgewählten Studierenden gebildet. In der Untersuchung erhielt nun eine Hälfte der Gruppen den Auftrag, die Aufgabenstellung unter Verwendung des Tabletop Interfaces durchzuführen, die andere Hälfte verwendete das rechner-basierte Werkzeug CMapTools (Cañas et al., 2004), um die Concept Map zu erstellen. Die Gruppen wurden zufällig einem Werkzeug zugeordnet und führten die Aufgabenstellung in beiden Fällen kollaborativ in einer kontrollierten Umgebung durch. Im

Gegensatz zu Block 3 entfiel hier die explizit geforderte individuelle Vorbereitungsphase, um eine stärkere inhaltliche Auseinandersetzung mit den Inhalten während der Modellierung zu fördern.

## **Anwendungen und Teilnehmer**

An der Untersuchung nahmen XY Studierende in XY Gruppen teil, wobei XY Gruppen die Aufgabenstellung unter Verwendung des hier vorgestellten Werkzeugs und XY Gruppen unter Verwendung der CMapTools durchführten. Die Teilnehmer waren allesamt Studierende der Wirtschaftsinformatik in der ersten Phase des Bakkelauratsstudiums (erstes bis drittes Semester), XY Teilnehmer waren männlich, XY weiblich. Keiner der Teilnehmer hatte Vorkenntnisse in der Prozessmodellierung oder im Concept Mapping.

Den Teilnehmern wurde das Werkzeug vor Beginn der Anwendung demonstriert und in sämtlichen Anwendungsaspekten erklärt. Die Anwendungen selbst dauerten durchschnittlich XY Minuten, wobei die kürzeste Anwendung XY Minuten, die längste XY Minuten dauerte.

## **Verwendung der Ergebnisse**

Die in diesem Block erhobenen Daten fließen in vorrangig in den Modell-Aspekt der Evaluierung ein. Hier wird eine vergleichende Studie durchgeführt, die das Ziel hat, die Eignung der beiden verwendeten Ansätze für die Externalisierung von mentalen Modellen gegenüberzustellen. Grundlage dieser Beurteilung ist das erstellte Modell, außerdem wird der auch Modellierungsprozess in der Auswertung berücksichtigt.

Hinsichtlich des Werkzeug-Aspekts wird in diesem Block neben der Identifikation von Verbesserungspotential und Verständnisschwierigkeiten auch die Zufriedenheit mit dem Werkzeug bzw. dessen Akzeptanz bei den Benutzern explizit erhoben.

Der Aspekt Articulation Work wird hier wie schon in Block 3 und aus den dort angeführten Gründen (siehe Abschnitt 12.2.3) nicht weiter berücksichtigt.

## **12.3. Eingesetzte Werkzeuge und Verfahren**

### **12.3.1. Werkzeuge**

### **12.3.2. Korrelationstests**

### **12.3.3. Signifikanztests**

#### **Sharpiro-Wilk-Test**

Der Sharpiro-Wilk-Test (?) testet eine Verteilung auf „Nicht-Normalität“ (d.h. die Nullhypothese ist, dass die Verteilung nicht normalverteilt ist). Für eine Wahrscheinlichkeit  $p < 0.05$  kann daher davon ausgegangen werden, dass die geprüfte Verteilung nicht normalverteilt ist. Dieser Test eignet sich auch für kleine Stichproben (ab  $n > 3$ ).

Er wird hier eingesetzt, um zu prüfen, ob der t-Test nicht eingesetzt werden kann (da dieser Normalverteilung der Parameter voraussetzt).

#### **Wilcoxon-Test**

#### **t-Test**

## **12.4. Zusammenfassung**

In diesem Kapitel wurde das globale Untersuchungsdesign zur Evaluierung der hier vorgestellten Arbeit beschrieben. In den ersten Abschnitten wurden die zu evaluierenden Aspekte identifiziert und beschrieben. Im Rahmen dieser Beschreibungen wurden auch mögliche Ansatzpunkte für die konkrete Untersuchung angeführt, die die Basis für die detaillierte Konzeption der Evaluierung dieser Aspekte in den Kapiteln XY bis XY bildet.

Im folgenden Abschnitt wurden die einzelnen im Rahmen der Evaluierung durchgeführten Untersuchungen angeführt. Diese Untersuchungen fokussieren jeweils auf einen zu evaluierenden Aspekt. Ihnen liegt jeweils ein konkretes Szenario zu Grunde, das in einer Reihe von Anwendungen des Werkzeugs in ein Modell umgesetzt wird. Je nach Fokus der Untersuchung werden vor- und nachgelagerte bzw. parallel ablaufende Aktivitäten in die Untersuchung mit einbezogen.

Die ursprüngliche Zuordnung zwischen den zu evaluierenden Aspekten und den einzelnen Evaluierungs-Blöcken ist in Tabelle 12.1 nochmals überblicksweise ange-

führt. Die Zuordnung hatte jeweils Einfluss auf das Szenario, in dem das Werkzeug angewandt wurde sowie auf das Untersuchungsdesign.

Tabelle 12.1.: Ursprüngliches globales Untersuchungsdesign

	Werkzeug	Modell	Articulation Work
Block 1	x		
Block 2			x
Block 3		x	
Block 4			x
Block 5		x	

Im Zuge der Durchführung der Evaluierung erwies sich die strikte Zuordnung eines Blocks zu genau einem zu evaluierenden Aspekt als nicht durchführbar. Tatsächlich liefern Untersuchungen zu einem (im Sinne der Zielhierarchie) übergeordneten Aspekten (von "unten" nach "oben": Werkzeug – Modell – Articulation Work) immer auch Erkenntnisse zu den untergeordneten zu evaluierenden Aspekten. Die Zuordnung der Evaluierungs-Blöcke zu den Aspekten verändert sich also wie in Tabelle 12.2 angegeben. Diese Zuordnung liegt auch den oben angeführten Beschreibungen der Blöcke zugrunde, in denen jeweils die Beiträge eines Blocks zu den zu evaluierenden Aspekten angegeben wurden.

Tabelle 12.2.: Einfluss der Untersuchungen auf die zu evaluierenden Aspekte

	Werkzeug	Modell	Articulation Work
Block 1	<b>x</b>		
Block 2	x	x	<b>x</b>
Block 3	x	<b>x</b>	
Block 4	x	x	<b>x</b>
Block 5	x	<b>x</b>	

In den folgenden Kapiteln wird nun die Evaluierung der einzelnen Aspekte über die Evaluierungs-Blöcke hinweg im Detail beschrieben. Dabei werden die Hypothesenbildung bzw. die Entwicklung der Hypothesen über die Zeit, die möglichen Ansätze zur Evaluierung der jeweiligen Hypothesen sowie das Untersuchungsdesign das zur Prüfung des Hypothesen führt, beschrieben. Die Kapitel schließen jeweils mit einer Zusammenfassung der Ergebnisse der Hypothesenprüfung und einer Bewertung dieser Ergebnisse im Kontext der globalen Zielsetzung, also der Unterstützung von expliziter Articulation Work.



# **I 3. Evaluierung der Verwendbarkeit des Werkzeugs**

Im ersten empirischen Teil der Evaluierung wurde die grundlegende Verständlichkeit und Verwendbarkeit des Werkzeug geprüft. Ziel war es hier, konzeptionelle und technische Eigenschaften bzw. Verhaltensweisen des Werkzeugs zu identifizieren, die den Modellierungsprozess behindern oder unterbrechen. Darunter fällt grundsätzlich jede Eigenschaft und jede Verhaltensweise, die die Benutzer zwingt, sich mit dem technischen System an sich zu beschäftigen und von der Erfüllung der eigentlichen Aufgabe ablenkt bzw. diese unterbricht.

Die Untersuchung wurde daneben auch genutzt, um explorativ die inhaltliche Verwendung des Systems zu untersuchen (d.h. wie es für seinen eigentlichen Verwendungszweck, die Modellierung, eingesetzt wurde) und Hypothesen abzuleiten, die in weiteren Schritten getestet werden konnten.

## **I 3.1. Hypothesen**

In diesem Abschnitt werden die Hypothesen angeführt und begründet, die in diesem Teil der empirischen Untersuchung geprüft werden. Die hier angegebenen Hypothesen gehen auf die Eigenschaften des Werkzeugs in der Verwendung durch die Benutzer ein. Bei der Hypothesenbildung wird auf den Verwendungszweck des Werkzeugs, die Unterstützung der Bildung diagrammatischer Modelle, Rücksicht genommen – die Modelle selbst sind jedoch nicht Gegenstand der Betrachtung, sondern werden erst im nächsten Kapitel behandelt. Nicht berücksichtigt wird außerdem die Verwendung zur Unterstützung von Articulation Work – die Implikationen des Werkzeugs auf diese sind Gegenstand von Kapitel 15.

### **I 3.1.1. Konzeptionell begründete Hypothesen**

Die folgenden Hypothesen wurden aus der Aufgabenstellung (siehe Kapitel XY) sowie den Anforderungen an das Werkzeug (siehe Kapitel XY) abgeleitet. Neben der Formulierung der Hypothese ist jeweils die Begründung aus der Konzeption des Werkzeugs angeführt.

Der grundlegende Anspruch des Werkzeugs ist es, explizite Articulation Work zu unterstützen. Wie in Teil I dieser Arbeit beschrieben, wird dies hier über die Externalisierung und Aushandlung von mentalen Modellen realisiert. Ein gängiges Mittel, um mentale Modelle zu repräsentieren, sind diagrammatische Modelle, worunter die Ergebnisse der vorgeschlagenen Methoden zur Externalisierung – Concept Mapping und Strukturlegetechniken – fallen. Das Werkzeug muss also die Repräsentation diagrammatischer Modelle unterstützen.

**Hypothese 1** *Das Werkzeug ermöglicht die Repräsentation diagrammatische Modelle.*

Articulation Work ist immer in einen kollaborativen Arbeitszusammenhang eingebettet. Die Kollaboration findet dabei nicht nur im produktiven Teil der Arbeit statt, sondern hat immer auch Auswirkungen auf die Articulation Work. Jede Unterstützung von Articulation Work muss damit auch in kollaborativen Szenarien einsetzbar sein. Dies gilt auch für das hier vorgestellte Werkzeug, das die kollaborative Bearbeitung einer Aufgaben (hier: der Externalisierung und Abstimmung mentaler Modelle) ermöglichen muss.

**Hypothese 2** *Das Werkzeug ermöglicht kollaboratives Arbeiten an einer Aufgabe.*

Die Aspekte von Arbeit, die im Rahmen von Articulation Work abzustimmen sind, sind unterschiedlicher Natur. Naheliegend ist eine Abstimmung der Abläufe und Schnittstellen zwischen Personen, aber auch nicht-prozedurale Information wie das Verständnis der Struktur und Elemente eines Arbeitszusammenhangs kann Gegenstand von Articulation Work sein. Gleiches gilt für die im Rahmen der Articulation Work abzustimmenden mentalen Modelle – diese bilden die Basis für Handlungsentscheidungen, umfassen aber im Allgemeinen (in Abgrenzung zu Schemata) nicht nur handlungsleitende Information sondern auch Kontextinformation, die die Bewertung der wahrgenommenen Situation ermöglicht. Demensprechend muss ein Werkzeug zu Unterstützung von expliziter Articulation Work und damit der Externalisierung von mentalen Modellen die Verwendung in unterschiedlichen Kontexten, d.h. für unterschiedliche zu externalisierenden Informationsstrukturen, die in mentalen Modellen abgebildet sind, ermöglichen.

**Hypothese 3** *Das Werkzeug ist gleichwertig für Modellierungsaufgaben in unterschiedlichen Kontexten einsetzbar.*

Die ersten drei hier formulierten Hypothesen sind unmittelbar aus der globalen Zielsetzung abgeleitet und bilden die grundlegenden Anforderungen an das Werkzeug bei der Unterstützung von Articulation Work ab. Die nun folgenden Hypothesen sind konzeptionell nicht mehr direkt auf die globale Zielsetzung ausgerichtet sondern stellen auf Funktionalität des Werkzeugs ab, die den Modellbildungsprozess unterstützen soll.

Die erste dieser Hypothesen bildet eine wesentliche Funktionalität des Werkzeugs, nämlich die Möglichkeit durch die Entstehungsgeschichte des erstellten Modells zu navigieren, ab. In der dieser Funktionalität zugrundeliegenden Literatur ((Shipman und Hsieh, 2000), (Klemmer et al., 2002)) wird diese als wesentlich bezeichnet, wenn Externalisierungsprozesse unterbrochen werden, kollaborativ durchgeführt werden oder Dritten die Möglichkeit gegeben werden soll, die Entstehung des Modells nachzuvollziehen. Allen drei Aspekten liegt die Annahme zugrunde, dass in der Historie des Externalisierungsprozesses die dem Ergebnis zugrundeliegenden Ideen und Annahmen zu erkennen sind. Im Kontext dieser Arbeit bedeutet dies, dass aus der Nachverfolgung der Historie des externalisierten Modells die diesem zugrundeliegenden mentalen Modelle verständlich und nachvollziehbar werden.

**Hypothese 4** *Die Reflexion des Modellierungsverlaufs ermöglicht das Verständnis der dem Modell zugrundeliegenden mentalen Modelle.*

Auf Basis der Möglichkeit zur Navigation durch die Entstehungsgeschichte des Modells besteht auch die Möglichkeit, vergangene Modellzustände wiederherzustellen. Das Werkzeug unterstützt dabei die Benutzer durch die Ausgabe von schrittweisen Anweisungen, die den aktuellen Modellzustand in den wiederherzustellenden Zustand überführen. Allgemein bietet diese Funktionalität die Möglichkeit, erkannte Fehler im Modell zu korrigieren, ohne dabei bereits repräsentierte Information zu verlieren. Im kollaborativen Einsatz ermöglicht diese Funktionalität, alternative, individuelle Sichten auf den abzustimmenden Sachverhalt zu repräsentieren und dabei die Möglichkeit bieten, einen für alle Beteiligten akzeptablen Ausgangspunkt wiederherzustellen

**Hypothese 5** *Die Möglichkeit der Wiederherstellung vergangener Modellzustände fördert die Bereitschaft alternative Repräsentationen auszuprobieren.*

Die letzten beiden Hypothesen dieses Abschnitts sind ausschließlich auf die Verwendung des Werkzeugs an sich ausgerichtet und stehen nicht im Kontext von Articulation Work oder der Unterstützung der Externalisierung mentaler Modelle. Hypothese 6 steht für den in der Zielsetzung formulierten Anspruch, dass das Werkzeug in den Hintergrund treten muss und die Beschäftigung mit der eigentlichen

Aufgabe nicht behindern darf. Dabei wird hier nicht auf den konkreten Anwendungsfall – die Erstellung von Modellen – eingegangen sondern lediglich die allgemeine Funktionsfähigkeit und Bedienbarkeit des Werkzeugs betrachtet. Ersteres ist Gegenstand der Evaluierung der erstellten Modelle, die in Kapitel 14 beschrieben werden.

**Hypothese 6** *Das Werkzeug behindert die Modellbildung nicht.*

Hypothese 7 geht davon aus, dass bei wiederholten Verwendung des Werkzeugs Lern- und Gewöhnungseffekte auftreten, die die Verwendung erleichtern, beschleunigen und zu weniger Fehlbedienung führen. Dies ist ein Effekt, der bei jedem Werkzeug zu erwarten ist, dessen zugrundeliegenden Konzepte den Benutzern bewusst sind. Von dieser Voraussetzung kann durch die inhaltliche Einführung der Benutzer in die das Werkzeug prägenden und motivierenden Ideen ausgegangen werden. Damit wäre zu erwarten, dass das Werkzeug bei wiederholtem Einsatz in den späteren Anwendungen effizienter (im Sinne von schneller und Fehlbedienungen vermeidend) verwendet wird.

**Hypothese 7** *Wiederholte Verwendung des Werkzeugs führt zu schnellerer Modellbildung und weniger Fehlbedienungen.*

### **13.1.2. Explorativ gebildete Hypothesen**

Neben den aus der Aufgabenstellung abgeleiteten Hypothesen wurden einige Hypothesen auch während der Durchführung der einzelnen Evaluierungs-Blöcke gebildet. Diese Hypothesen sind spezifischer auf einzelne Aspekte des Werkzeugs abgestellt und decken beobachtete Auffälligkeiten und Missverständnisse in der Verwendung des Werkzeugs ab.

Die erste in diesem Zusammenhang beobachtete Auffälligkeit betrifft die Herstellung von Verbindern zwischen einzelnen Modellelementen. Wie in Abschnitt 8.3.3 beschrieben, existieren zwei Möglichkeiten, diese Funktion auszuführen. Einerseits können die beiden Modellelemente, die verbunden werden sollen, mit Markierungstokens ausgewählt werden, worauf hin eine Verbindung hergestellt werden. Andererseits können Verbinder auch durch das Zusammenführen der zu verbindenden Blöcke (bis sich deren Breitseiten berühren) hergestellt werden. In der ersten Implementierung des Werkzeugs, die im Evaluierungs-Block 1 und im ersten Teil des zweiten Blocks verwendet wurde, war lediglich die erste Variante verfügbar. Die Möglichkeit zur Herstellung von Verbindern wurde in den in diesen Blöcken durchgeführten Anwendungen kaum eingesetzt. Dies führte einerseits zur Bildung der Hypothese 14

(siehe Abschnitt 14.1.2), andererseits wurde bei ersten Auswertungen der Beobachtungen der im Verhältnis zum übrigen Modellierungs-Prozess hohe Zeit-Aufwand bei der Herstellung von Verbindern offensichtlich. Dieser Aufwand ist den Maßnahmen zur Stabilisierung der Erkennungsleistung des Werkzeugs geschuldet und kann mit den eingesetzten Interaktionsablauf nicht reduziert werden. Aufgrund einer Anregung eines Untersuchungsteilnehmers wurde deshalb die oben beschriebene zusätzliche Möglichkeit zur Herstellung von Verbindungen implementiert. Zu untersuchen ist nun, ob diese Maßnahme die Nutzung von Verbindern bei der Modellbildung tatsächlich erhöht.

**Hypothese 8** *Die Einführung der alternativen Möglichkeit zur Verbindungsherstellung erhöht die Nutzung von Verbindern bei der Modellerstellung.*

Die zweite hier aufgestellte Hypothese betrifft eine Auffälligkeit bei der Verwendung des Löschtokens. Das Löschtoken wird verwendet, um das Werkzeug in einen Modus zu versetzen, in dem Verbinder gelöscht werden können. Schon die konzeptionelle Einordnung des Werkzeugs in Kapitel 11 zeigte Potential für Missverständnisse in der Verwendung dieses Tokens (siehe z.B. die Abschnitte 11.9 und 11.11). Zusammengefasst liegt die aus der Theorie ableitbare Problematik darin, dass durch die äußere Form des Tokens – einem Radiergummi – eine Metapher für dessen Verwendung („ausradieren“ von Elementen) suggeriert wird, die in dieser Form im Werkzeug nicht umgesetzt ist, da das Token lediglich als Schalter fungiert. Erste Beobachtungen deuteten darauf hin, dass die Verwendung des Löschtokens tatsächlich unverständlich oder missverständlich zu sein scheint. Die zugehörige Hypothese ist positiv formuliert, zu erwarten wäre demnach, dass sie verworfen werden muss.

**Hypothese 9** *Das Löschtoken ermöglicht intuitives Löschen von Modellelementen.*

## 13.2. Untersuchungsdesign und Durchführung

In diesem Abschnitt wird auf Basis der eben formulierten Hypothesen ein Untersuchungsdesign abgeleitet und die Durchführung der Untersuchung beschrieben. Im ersten Schritt werden die Hypothesen hinsichtlich der Möglichkeiten ihrer Beurteilung betrachtet und dabei die zu erhebenden Variablen identifiziert. Im nächsten Schritt folgt die Operationalisierung, in der die konkrete Messung bzw. Beurteilung der einzelnen Variablen festgelegt wird. Aus dieser Operationalisierung können die durchzuführenden Untersuchungen abgeleitet werden. An dieser Stelle erfolgt auch die Einordnung in die in Kapitel 12 beschriebenen Evaluierungsblöcke. Im letzten Teil dieses Abschnitts wird die eigentliche Durchführung beschrieben, wobei im

Speziellen auf deskriptive Parameter der Untersuchung eingegangen wird, die im Kontext der Werkzeugverwendung von Interesse sind, aber nicht oder nur als Teil der Berechnungsgrundlage in die Auswertung der Hypothesen eingehen.

### 13.2.1. Operationalisierung

In diesem Abschnitt wird für jede Hypothese identifiziert, welche Variablen bei ihrer Beurteilung berücksichtigt werden müssen. Für jeder der Variablen wird in der Folge die konkrete Mess- und Auswertungsmethode festgelegt (auf Basis der in Abschnitt 12.3 beschriebenen Verfahren) und jene Evaluationsblöcke festgelegt, die für die jeweilige Untersuchung herangezogen wurden.

Bei der Definition der Variablen für die einzelnen Hypothesen sind unabhängige, abhängige und Stör-Variablen zu unterscheiden. In einer empirischen Untersuchung beschreiben *unabhängige Variablen* jene Parameter die in einer Untersuchung bewusst variiert bzw. festgelegt werden können, um eine Hypothese zu testen zu. Die Auswirkungen der Festlegung der unabhängigen Variablen zeigt sich an den *abhängigen Variablen*. Die Messung dieser Variablen erlaubt es, die jeweilige Hypothese zu beurteilen. *Störvariablen* sind unabhängige Variablen, die jedoch nicht frei gewählt werden können, sondern als grundsätzlich unbekannter Einflussfaktor auf die abhängigen Variablen wirken. Bei der Beurteilung der Hypothesen muss der Einfluss von Störvariablen möglichst minimiert bzw. bei der Auswertung berücksichtigt werden.

Im Überblick sind folgende unabhängige Variablen in dieser Untersuchung zu berücksichtigen:

- Werkzeug
- Methodik
- Aufgabe
- Modellierungsvorkenntnisse

Abhängig von der jeweils zu testenden Hypothese können diese Variablen tatsächlich als unabhängige Variablen fungieren oder Störvariablen sein, deren Einfluss minimiert werden muss. Die abhängigen Variablen sind spezifisch für die jeweilige Hypothese festgelegt und werden in den jeweiligen nun folgenden Abschnitten eingeführt.

### Repräsentation diagrammatischer Modelle

Gegenstand dieses Abschnitts ist die Operationalisierung der Hypothese 1. Gegenstand der Überprüfung ist hier die Eignung des Werkzeugs für die Repräsentation diagrammatischer Modelle.

Die **unabhängigen Variablen** sind in diesem Fall das *Werkzeug* und die *Modellierungsaufgabe*. Das Werkzeug wird dabei in allen berücksichtigten Untersuchungen eingesetzt. Die Modellierungsaufgaben müssen so formuliert sein, dass es grundsätzlich möglich ist, sie durch die Beschreibung in einem diagrammatischen Modell zu erfüllen. Keinen Einfluss auf die Untersuchung haben die eingesetzte Methodik sowie eventuell vorhandene Modellierungsvorkenntnisse, da die grundsätzlich Möglichkeit der Erstellung diagrammatischer Modelle unabhängig von der Art der Verwendung und von der Kompetenz der Benutzer ist.

Die **abhängigen Variable** ist hier die *Repräsentation*, die mit Hilfe des Werkzeugs erstellt wurde. Ein diagrammatisches Modell zeichnet nach (Larkin und Simon, 1987) aus, dass in ihm Konzepte und deren Zusammenhänge visuell-graphisch dargestellt werden können (in Abgrenzung zu textuellen Beschreibungen). Zur Bewertung der Hypothese werden deshalb die erstellten Repräsentationen herangezogen und überprüft, ob sie den Anforderungen an ein diagrammatisches Modell – das Vorhandensein von Konzepten und Beziehungen zwischen diesen – erfüllen.

### Kollaboratives Arbeiten

Gegenstand dieses Abschnitts ist die Operationalisierung der Hypothese 2. Dabei wird überprüft, ob das Werkzeug kollaboratives Arbeiten an einer Modellierungsaufgabe erlaubt.

**Unabhängige Variablen** sind hier das *Werkzeug*, die *Methodik* sowie die *Modellierungsaufgabe*. Während Werkzeug und Methode wie in den vorhergehenden Kapiteln konzipiert eingesetzt werden, muss eine Modellierungsaufgabe gewählt werden, die kollaboratives Arbeiten sinnvoll ermöglicht. Etwaige Modellierungsvorkenntnisse haben keinen Einfluss auf die Beurteilung der hier betrachteten Hypothese.

Als **abhängige Variablen** eignen sich in diesem Fall die *Zeitverteilung der Beteiligung* der einzelnen Benutzer am Modellierungsvorgang, die *Anzahl der Übergaben der Modellierungsinitiative* sowie das *Verhalten der Benutzer bei simultaner Manipulation* eines Modells auf der Modellierungsoberfläche. Die erstgenannte Variable kann quantitativ gemessen werden, wobei eine tendenziell zeitlich gleichverteilte Einbindung der Beteiligten in die Modellbildung für die Annahme der Hypothese spricht. Die Anzahl der Übergaben der Modellierungsinitiative zeigt an, wie oft bei der Modellierung die Initiative zwischen den Beteiligten gewechselt hat. Hohe Zahlen sprechen hier für eine Annahme der Hypothese. Zusätzlich kann mittels die

dritten Variable qualitativ beurteilt werden, ob und wie simultane Manipulation des Modells durch mehrere Benutzer möglich ist.

### **Einsetzbarkeit in unterschiedlichen Kontexten**

Gegenstand dieses Abschnitts ist die Operationalisierung der Hypothese 3. Diese Hypothese zielt dabei auf die Eignung des Werkzeugs zur Modellbildung in unterschiedlichen Kontexten, d.h. für unterschiedliche Modellierungsaufgaben.

Die **unabhängigen Variablen** sind dabei wiederum das *Werkzeug* und die *Methodik*, die wie konzipiert eingesetzt werden, sowie die *Modellierungsaufgabe*, als jene Variable, die im Zuge der Untersuchung variiert wird. Etwaige *Modellierungsvorkenntnisse* können insofern als **Störvariable** wirken, als das sie die Wahrnehmung der Eignung des Werkzeugs für eine bestimmte Aufgabe positiv oder negativ beeinflussen.

**Abhängige Variablen** sind in diesem Fall die *Wahrnehmung der Eignung* durch die Benutzer, die qualitativ beurteilt wird, und die *Korrelation der Größe der erstellten Modelle mit der benötigten Modellierungsdauer*. Korreliert die Modellgröße positiv mit der Modellierungsdauer, so ist der Zeitanteil, der zu Beschäftigung mit dem Werkzeug selbst (und nicht mit der Modellierungsaufgabe) tendenziell stabil. Daraus kann abgeleitet werden, dass das Werkzeug die verglichenen Modellierungsaufgaben gleich gut (oder schlecht) unterstützt.

### **Reflexion des Modellierungsverlaufs**

Gegenstand dieses Abschnitts ist die Operationalisierung der Hypothese 4. Dabei wird überprüft, ob die Möglichkeit zur Reflexion des Modellierungsverlaufs das Verständnis der zugrundeliegenden mentalen Modelle ermöglicht bzw. verbessert.

Sowohl *Werkzeug* und *Methodik* sind als **unabhängige Variablen** zu identifizieren. Die Modellierungsaufgabe und Modellierungsvorkenntnisse haben keine Auswirkung auf die Untersuchung.

Als **abhängige Variable** kann hier der *wahrgenommene Erfolg bei der Vermittlung eines mentalen Modells* herangezogen werden. Zur Beurteilung desselben wird eine Modellierungssituation geschaffen, in der eine Person für sich individuell das Werkzeug zur Externalisierung eines mentalen Modells benutzt. In einem zweiten Schritt wird eine zweite, zuvor nicht beteiligte Person aufgefordert, den Inhalt der auf der Modellierungsoberfläche vorhandenen Repräsentation zu interpretieren, wobei der Modellierungsverlauf herangezogen werden darf, eine Interaktion mit dem ursprünglichen Modellierer jedoch nicht gestattet ist. Im dritten Schritt beurteilt der ursprüngliche Modellierer die Adäquatheit der Interpretation und trifft



so eine Aussage über den Erfolg des Transfers des mentalen Modells. In Kombination mit der Information über Art und Ausmaß der Benutzung der Möglichkeit zum Zugriff auf den Modellierungsverlaufs lässt sich eine qualitative Aussage über die Effekte dieser Funktionalität treffen.

### Wiederherstellung vergangener Modellzustände

Gegenstand dieses Abschnitts ist die Operationalisierung der Hypothese 5. Gegenstand der Überprüfung ist die Verwendung der Wiederherstellungsfunktionalität zum Zwecke der versuchsweisen Veränderung des Modells.

Als **unabhängige Variablen** wirken hier wie zuvor *Werkzeug* und *Methodik*, die *Modellierungsaufgabe* hat insofern Auswirkungen, als dass sie so gestaltet sein muss, dass sinnvoll unterschiedliche Repräsentationen gebildet werden können. Modellierungsvorkenntnisse haben keine Auswirkungen auf diese Untersuchung.

Die **abhängige Variable**, die zur Beurteilung dieser Hypothese herangezogen wird, ist die *Anzahl der Verwendungen der Wiederherstellungsfunktionalität zur Korrektur inhaltliche verworfener Repräsentationen*. Höhere Werte deuten hier auf eine Annahme der Hypothese hin. Zusätzlich können qualitative Aussagen zur Nutzung dieser Funktionalität und deren *wahrgenommenen Nutzen* zur Beurteilung verwendet werden.

### Nicht-Behinderung

Gegenstand dieses Abschnitts ist die Operationalisierung der Hypothese 6. Dabei wird überprüft, ob bei der Verwendung des Werkzeugs dieses in den Aufmerksamkeitsfokus der Benutzer tritt oder sich diese auf die eigentliche Modellierungsaufgabe konzentrieren können.

**Unabhängige Variablen** sind in diesem Fall das *Werkzeug* und die angewandte *Modellierungsmethode*. Die Modellierungsaufgabe hat keinen Einfluss auf die Überprüfung dieser Hypothese, lediglich etwaig vorhandene *Modellierungsvorkenntnisse* können als **Störvariable** wirken, da sie Einfluss auf die erwartete Funktionalität des Werkzeugs haben kann.

Zur Beurteilung, ob bzw. inwieweit das Werkzeug die Modellbildung behindert, werden qualitative beurteilbare **abhängige Variablen** herangezogen. Die Anzahl von *Fehlfunktionen des Werkzeugs* bzw. das *Auftreten von Systemabstürzen* als Indikator für eine behindernde Wirkung des Werkzeugs herangezogen werden. Das Auftreten von Missverständnissen und daraus resultierende Fehlbedienungen können ebenfalls eine Behinderung des Modellierungsvorgangs interpretiert werden. Zudem wird das artikulierte Empfinden der Benutzer als Maß für die wahrgenommene Be-

hinderung durch das Werkzeug herangezogen. Der Einfluss von Modellierungsvorkenntnissen kann in diesem Fall nicht mit rechnerischen Maßnahmen kompensiert werden. Etwaige Vorkenntnisse werden dementsprechend bei der Auswertung angeführt und müssen bei der Diskussion der Hypothese berücksichtigt werden.

### **Gewöhnung an das Werkzeug**

Gegenstand dieses Abschnitts ist die Operationalisierung der Hypothese 7. Dabei wird überprüft, ob wiederholte Benutzung des Werkzeugs Auswirkung auf die Qualität der Interaktion hat. Eine Erhöhung der Qualität äußert sich in schnellerer Modellbindung und weniger Fehlbedienung.

**Unabhängige Variablen** sind in diesem Fall *die Verwendung des Modellierungswerkzeugs* und die angewandte *Methodik*. **Störvariablen**, die unerwünschten Einfluss auf die Messung haben, sind potentiell die *Modellierungsaufgabe* (die Einfluss auf die Dauer der Anwendung hat und außerdem die Verwendung unterschiedlicher Funktionalität bedingen kann) und eine etwaige *veränderte Funktionalität des Werkzeugs* zwischen den verglichenen Evaluierungsblöcken (die die Interaktion einerseits erleichtern kann, andererseits aber auch zu Fehlbedienung aufgrund von unbekannten Interaktionsmustern führen kann).

Die **abhängigen Variablen** zur Beurteilung der Qualität der Interaktion sind einerseits die *Anzahl der Fehlbedienungen* des Werkzeugs pro Zeiteinheit und andererseits die *Arbeitsdauer am Werkzeug*<sup>1</sup> in Abhängigkeit der Modellgröße. Die Normierung der abhängigen Variablen ist notwendig, um vergleichbare Werte für unterschiedliche Werkzeug-Anwendungen zu erhalten. Sinken beide Werte zwischen zwei Evaluierungsblöcken, die auf der gleichen Stichprobe aufbauen, signifikant, so kann die Hypothese angenommen werden. Um den Einfluss der Störvariablen zu reduzieren, ist es sinnvoll, in beiden Blöcken eine identische Modellierungsaufgabe zu stellen und die Funktionalität des Werkzeugs nicht zu verändern. Identische Modellierungsaufgaben können durch die wiederholte inhaltliche Beschäftigung mit der Aufgabe zu schnellerer Arbeit bzw. zu kompakteren Modellen führen. Diesem weiteren Störfaktor kann durch die Berücksichtigung der reinen Arbeitszeit am Werkzeug sowie der Normierung derselben in Abhängigkeit der Modellgröße entgegengewirkt werden.

### **Herstellung von Verbindern**

---

<sup>1</sup>Die Arbeitsdauer am Werkzeug ist im Gegensatz zur gesamten Modellierungsdauer um jenen Zeitanteil reduziert, in dem die Teilnehmer interagieren, ohne am Werkzeug zu arbeiten.

Gegenstand dieses Abschnitts ist die Operationalisierung der Hypothese 8. Mit Hilfe dieser Hypothese soll überprüft werden, ob die Einführung der alternativen Möglichkeit zur Herstellung von Verbindern deren Verwendung signifikant gesteigert hat.

Die für diese Hypothese relevanten **unabhängigen Variable** ist die *Verwendung des Werkzeugs*. **Störvariablen** sind die *Modellierungsaufgabe* (da sie die Anzahl der benötigten Verbinder beeinflussen kann), die *Methodik* (da sie die Verwendung von Verbindern im Allgemeinen bedingen oder vermeiden kann) und *eventuell vorhandene Modellierungsvorkenntnisse* (da diese Einfluss auf die Struktur des Modells haben können). Um den Einfluss der Störvariablen zu reduzieren, wird die Messung zwischen zwei Evaluierungsblöcken vorgenommen, in denen die gleiche Stichprobe mit der gleichen Aufgabenstellung das Werkzeug mit der gleichen Methodik anwandte. Lediglich die Funktionalität des Werkzeugs wurde zwischen den beiden Anwendungen um den alternativen Weg zur Herstellung von Verbindern erweitert.

Als **abhängige Variable** ist zur Beurteilung des Ausmaßes der Verwendung von Verbindern in diesem Fall die *Connectedness* des Modells verwendbar. Die *Connectedness* ist das Verhältnis zwischen der Anzahl der im Modell verwendeten Verbinder und der Anzahl der verwendeten Knoten (Modellierungselemente). Hier ist zu prüfen, ob die *Connectedness* in jenem Evaluierungs-Block, in dem der alternative Weg zur Herstellung von Verbindungen verfügbar war, signifikant höher ist als in jenem Block, in dem sie nicht verfügbar war.

## Löschtoken

Gegenstand dieses Abschnitts ist die Operationalisierung der Hypothese 9. Dabei wird überprüft, ob das Löschtoken intuitiv korrekt verwendet wird oder ob es zu Fehlinterpretationen kommt.

Die Verwendbarkeit des Löschtokens ist unabhängig von der Modellierungsaufgabe, der angewandten Methodik und auch von eventuell vorhandenen Modellierungsvorkenntnissen. Die einzig relevante **unabhängige Variable** ist die *Verwendung des Werkzeugs* selbst.

Zur Beurteilung der intuitiven Verwendbarkeit werden quantitative und qualitative Merkmale der Werkzeugverwendung herangezogen. Eine quantitativ beurteilbare **abhängige Variable** ist der Anteil der Fehlbedienungen des Löschtokens in Bezug auf alle Anwendungen des Werkzeugs, in denen es grundsätzlich verwendet wurde. Qualitativ wird die Art des Missverständnisses, das zu den jeweiligen Fehlbedienungen führt, beurteilt.

Zur Messung der quantitativen Variablen wird für jede Anwendung die Anzahl der Fehlbedienungen erhoben, die durch das Löschtoken verursacht wurden. Die-

ser Wert wird in Bezug zur Gesamtanzahl der Fehlbedienungen gesetzt, so dass der Anteil der durch das Löschtoken verursachten Fehlbedienungen berechnet werden kann. Bei "gleich guter" intuitiver Bedienbarkeit aller Werkzeuge wäre eine Gleichverteilung der Fehler zu erwarten. Ist der Anteil der durch das Löschtoken verursachten Fehlbedienungen höher als der Anteil, der bei Gleichverteilung zu erwarten wäre, so deutet dies auf eine Ablehnung der Hypothese hin.

Qualitativ werden Modellierungssituationen betrachtet, in denen das Löschtoken zum Einsatz kommt. Auf Basis von Transkripten der Interaktion zwischen den Benutzern und dem Werkzeug, bei denen es zu Fehlbedienungen kam, werden die aufgetretenen Missverständnisse explizit identifiziert.

### 13.2.2. Datenbasis

Als Grundlage der Überprüfung der Hypothesen werden hier die Evaluierungs-Blöcke 1 bis 5 verwendet. Dabei wurden für die quantitativ zu prüfenden Variablen die Blöcke 2 und 3 herangezogen. In die qualitative Auswertung der Ergebnisse wurden hingegen alle Blöcke (1-5) mit einbezogen.

### 13.2.3. Durchführung

In diesem Abschnitt werden die für diesen Evaluierungs-Teil relevanten deskriptiven Parameter der berücksichtigten Anwendungs-Blöcke angeführt.

#### Stichprobe

	Aushandlung (1. Durchgang)	Aushandlung (2. Durchgang)	Concept Mapping	Gesamt
$n_{Anwendungen}$	9	9	17	35
$n_{Teilnehmer}$	19	18	47	84

#### Dauer der Werkzeugverwendung

Die Dauer der Werkzeug-Verwendung wurde den Blöcken 2 („Aushandlung“) und 3 („Concept Mapping“) erhoben. Die Bearbeitungszeit ist wie folgt verteilt (siehe auch Abbildung 13.1<sup>2</sup>):

---

<sup>2</sup>In allen Boxplots gilt folgende Notation:

- breite horizontale Linie: Bereich zwischen 25%- und 75%-Quantil

	Aushandlung (1. Durchgang)	Aushandlung (2. Durchgang)	Concept Mapping
$t_{min}$	11m 54s	2m 5s	14m 1s
$\bar{t}$	20m 53s	9m 49s	32m 32s
$s(t)$	4m 18s	5m 20s	10m 7s
$t_{max}$	27m 30s	19m 29s	45m 0s

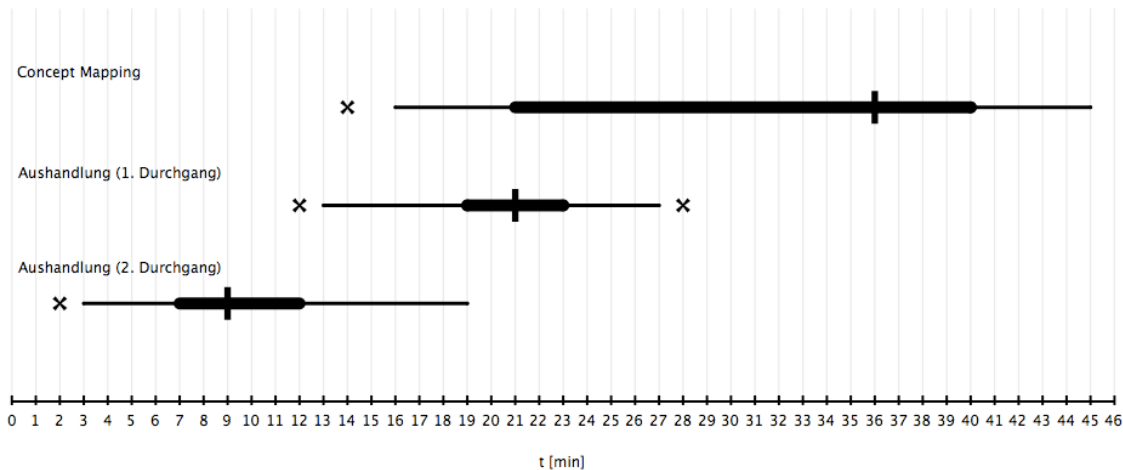


Abbildung 13.1.: Dauer der Werkzeugverwendung – Überblick

Die erhobene Dauer der Werkzeug-Verwendung teilt sich in einen Anteil, an dem tatsächlich mit dem Werkzeug interagiert wird und einen Anteil, der anderen Tätigkeiten (wie inhaltlicher Diskussion, Bedeutsaushandlung, ...) gewidmet ist. Diese beiden Anteile sind in den einzelnen Blöcken wie folgt verteilt (siehe auch die Abbildungen 13.2 und 13.3):

## 13.3. Ergebnisse

### 13.3.1. Repräsentation diagrammatischer Modelle

Gegenstand dieses Abschnitts ist die Operationalisierung der Hypothese 1.

- breite vertikale Linie: Median
- linke schmale Linie: Bereich zwischen 2,5%- und 25%-Quantil
- rechte schmale Linie: Bereich zwischen 75%- und 97,5%-Quantil
- Kreuze: Ausreißer (außerhalb 2,5%- und 97,5%-Quantil)

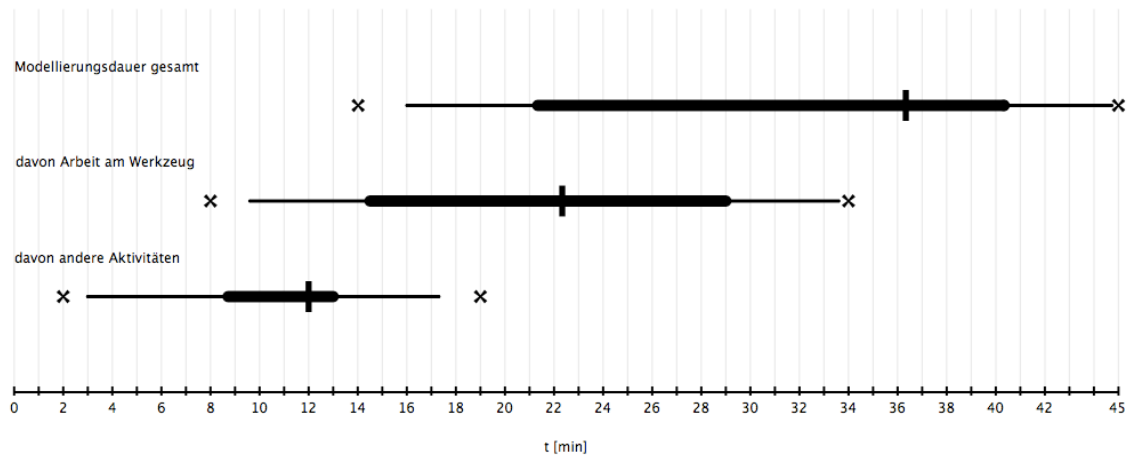


Abbildung 13.2.: Dauer der Werkzeugverwendung – Concept Mapping

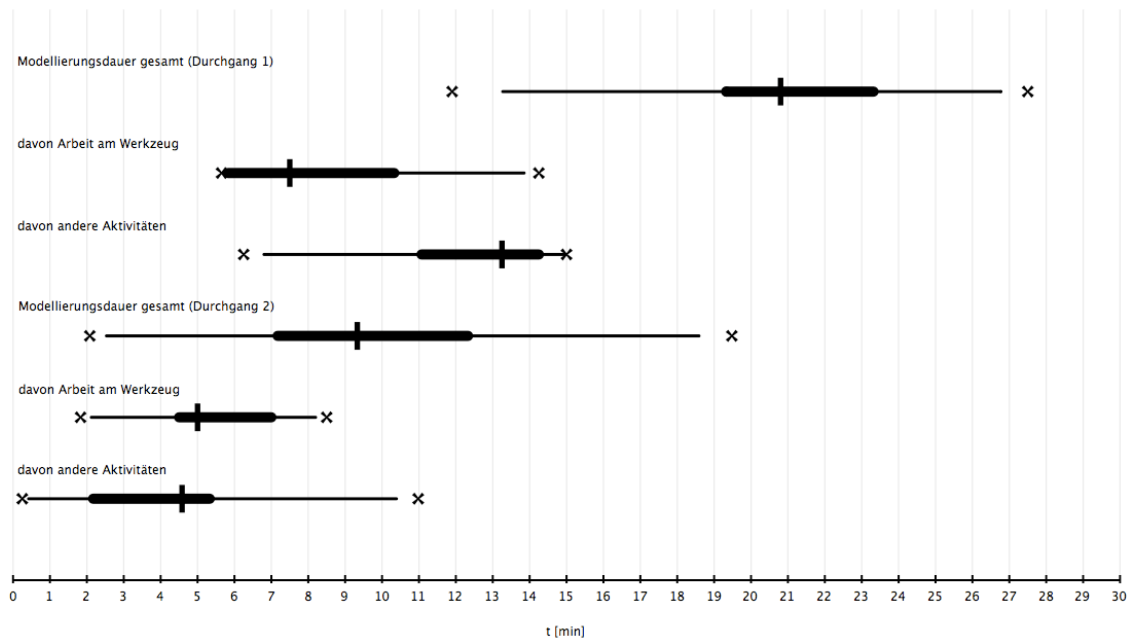


Abbildung 13.3.: Dauer der Werkzeugverwendung – Aushandlung

Als Grundlage dieser Untersuchung dienen die Ergebnisse der ersten drei Evaluierungsblöcke, da die Ergebnisse von Block 4 und 5 zum Zeitpunkt der Auswertung noch nicht vorlagen.

## **Auswertung**

## **Diskussion**

## **Ergebnis**

### **13.3.2. Kollaboratives Arbeiten**

Gegenstand der hier beschriebenen Untersuchung ist Hypothese 2 („Das Werkzeug ermöglicht kollaboratives Arbeiten an einer Aufgabe.“). Zur Untersuchung herangezogen wurden die Werkzeuganwendungen aus den Evaluierungsblöcken 2 ( $n = 9$ ) und 3 ( $n = 17$ ), wobei in Block 2 in Gruppen zu zwei Personen modelliert wurde (in einem Fall drei Personen), in Block 3 in Gruppen zu drei Personen (in drei Fällen nur zwei Personen). Um die unterschiedliche Gesamt-Modellierungsdauer in den einzelnen Anwendungen zu kompensieren, wurden die Berechnungen auf Basis der prozentuellen Zeitanteile der einzelnen Teilnehmer durchgeführt. Die einzelnen Datensätze wurden so sortiert, dass die anteilmäßige Modellierungsdauer von Teilnehmer A bis Teilnehmer C (bzw. B) abnimmt.

## **Auswertung**

## **Diskussion**

## **Ergebnis**

### **13.3.3. Herstellung von Verbindern**

Gegenstand der hier beschriebenen Untersuchung ist Hypothese 8 („Die Einführung der alternativen Möglichkeit zur Verbindungsherstellung erhöht die Nutzung von Verbindern bei der Modellerstellung.“). Zur Untersuchung herangezogen wurden die Werkzeuganwendungen aus Evaluierungsblock 2 ( $n = 9$ ). Dieser wurde gewählt, da in diesem Block alle Teilnehmer das Werkzeug zweimal mit der gleichen Aufgabenstellung anwandten, wobei in der ersten Anwendungsrunde lediglich die ursprüngliche Funktionalität zur Herstellung von Verbindern verfügbar war, in der zweiten Runde aber bereits der alternative Funktionalität implementiert war. Zur weiteren Überprüfung der Ergebnisse werden außerdem die Ergebnisse aus Block

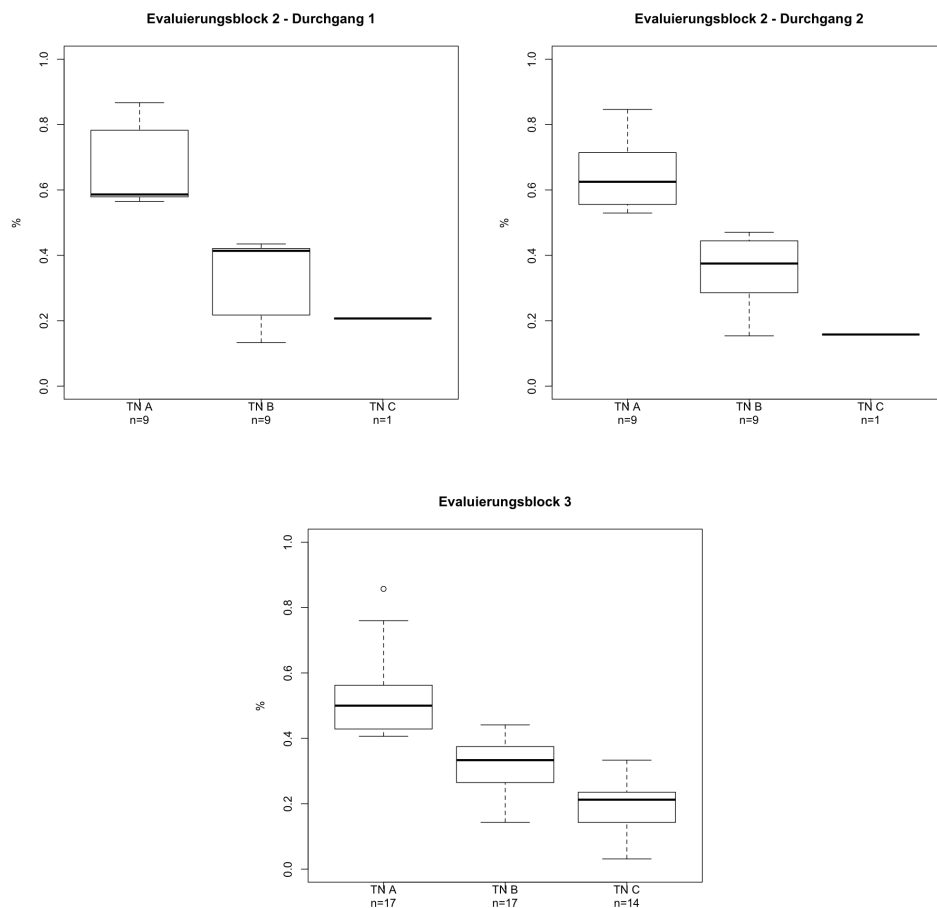


Abbildung 13.4.: Zeitverteilung in Evaluierungsblock 2 - Durchgang 1



3 ( $n = 17$ ) herangezogen, bei dessen Durchführung ebenfalls bereits die alternative Funktionalität verfügbar war.

### Auswertung

Grundlage der Auswertung ist das Modellmerkmal „Connectedness“, worunter hier das Verhältnis zwischen der Anzahl der in einem Modell verwendeten Verbindern und den verwendeten Modellelementen verstanden wird. In den einzelnen Evaluierungsblöcken verteilt sich die Connectedness wie in den Abbildungen 13.7, 13.8 und 13.9 dargestellt.

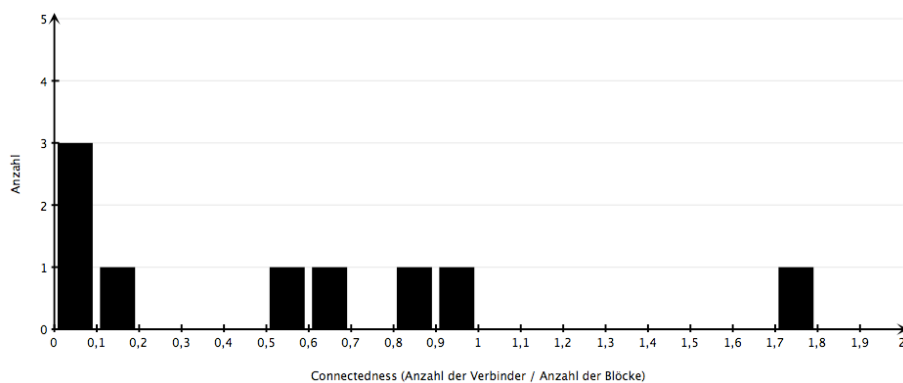


Abbildung 13.5.: Connectedness in Evaluierungsblock 2 - Durchgang 1

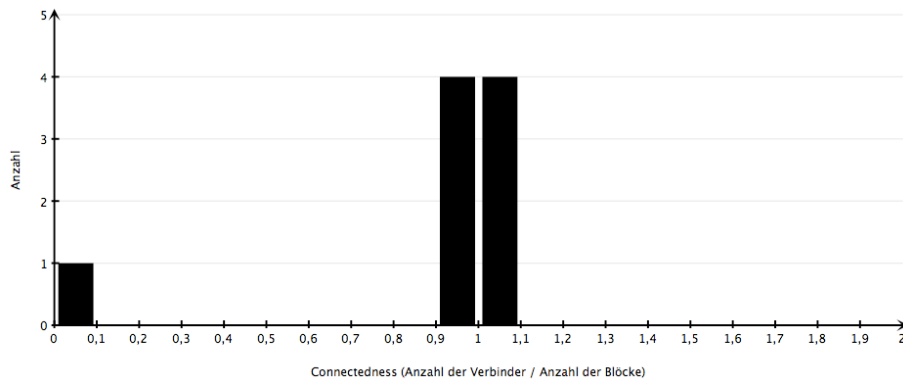


Abbildung 13.6.: Connectedness in Evaluierungsblock 2 - Durchgang 2

Zu prüfen ist, ob die Connectedness in jenem Evaluierungs-Blöcken bzw. -Durchgängen, in denen die alternative Funktionalität zur Verbindungs-Herstellung verfügbar war, signifikant höher ist, als in jenen, in denen dies nicht der Fall war. Berechnet wird die

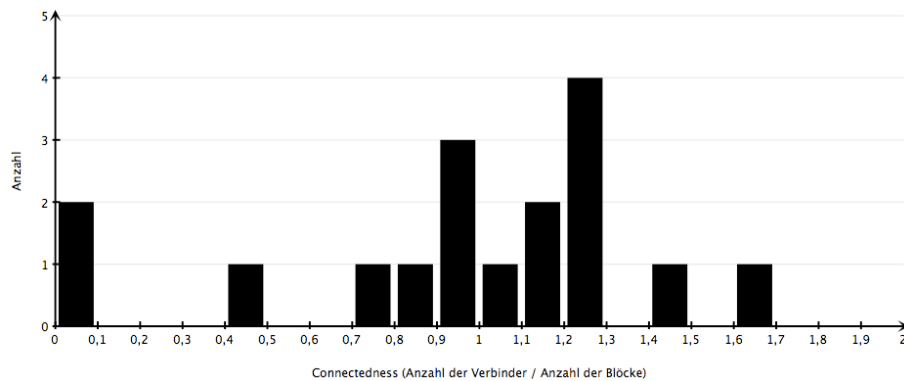


Abbildung 13.7.: Connectedness in Evaluierungsblock 3

Signifikanz zwischen den Ergebnissen der beiden Durchgänge von Block 2 ( $conn_{B21}$  und  $conn_{B22}$ ) sowie zwischen den Ergebnissen ersten Durchgang von Block 2 und den Ergebnissen von Block 3 ( $conn_{B3}$ ). Im zweiten Fall ist zu beachten, dass die Aufgabenstellung nicht identisch war und somit eine potentielle Störvariable wirksam wird. Aufgrund der geringen Stichprobengröße kommt zur Prüfung der Signifikanz der t-Test nicht in Frage, es wird der *Wilcoxon-Test* herangezogen. Der t-Test setzt außerdem Normalverteilung der Prüfgrößen voraus, was zumindest bei der Verteilungen nicht der Fall ist (Shapiro-Wilk-Test für  $conn_{B22}$ :  $p = 6.29e^{-5}$ , damit ist die von Nicht-Normalverteilung auszugehen)

Die Null-Hypothese des Wilcoxon-Tests ist, dass die beiden Verteilungen identisch verteilt sind. Entsprechend dem erwarteten Ergebnis (dass die mit der alternativen Funktionalität durchgeführten Anwendungen höhere Connectedness aufweisen) wurde die Alternativ-Hypothese so festgelegt, dass sie angenommen wird, wenn die Verteilung des zweiten Blocks gegenüber dem ersten Block nach rechts verschoben (also wertemäßig höher) ist.

Der Wilcoxon-Test für ungepaarte Stichproben ergibt für  $conn_{B21}$  und  $conn_{B22}$  und der eben beschriebenen Alternativ-Hypothese  $p = 0.9854$  – die Alternativ-Hypothese ist damit anzunehmen, die zweite Verteilung (jene mit Einsatz der alternativen Funktionalität der Verbindungsherstellung) weist eine signifikant höhere Connectedness auf als die erste Verteilung (ohne diese Funktionalität).

Für  $conn_{B21}$  und  $conn_{B3}$  ergibt der Wilcoxon-Test für ungepaarte Stichproben mit der gleichen Alternativ-Hypothese  $p = 0.98$  – auch hier ist die Alternativ-Hypothese anzunehmen.

Für  $conn_{B22}$  und  $conn_{B3}$  ergibt der Wilcoxon-Test für ungepaarte Stichproben mit der gleichen Alternativ-Hypothese  $p = 0.7586$  – auch hier ist die Alternativ-Hypothese anzunehmen.

## Diskussion

Aufgrund der Ergebnisse der berechneten Signifikanztests ist die Hypothese anzunehmen. Mit der Einführung der alternativen Möglichkeit zur Herstellung von Verbindungen war in den einzelnen Anwendungen des Werkzeugs eine Zunahme der Verwendung von Verbindern zu beobachten. Während die Benutzer bei der ursprünglichen Funktion zur Herstellung von Verbindungen zum Großteil auf diese verzichteten (auch bereits in Evaluierungsblock 1), wurden Verbinder unabhängig von der Aufgabenstellung mit der Einführung der alternativen Funktionalität verstärkt eingesetzt.

Die Connectedness eignet sich als Parameter zur vergleichenden Beurteilung des Ausmaßes der Verwendung von Verbindern, da durch die Einbeziehung der Größe des Modells (repräsentiert durch die Anzahl der verwendeten Modellelemente) in die Berechnung den Wert für unterschiedliche Modelle vergleichbar macht.

Einfluss auf die Höhe der Connectedness hat aber die Aufgabenstellung, die zur Bildung des Modells führt. Unterschiedliche Modellierungsaufgaben führen zu unterschiedlichen Modell-Topologien, die sich wiederum in der Anzahl der verwendeten Verbinder auswirkt. Dies zeigt sich am Ergebnis des Wilcoxon-Tests für  $conn_{B22}$  und  $conn_{B3}$  – in beiden Fällen stand die alternative Möglichkeit zur Verbindungsherstellung zur Verfügung  $conn_{B3}$  ist trotzdem signifikant höher als  $conn_{B22}$ . Dies kann darin begründet liegen, dass die Concept-Mapping-Aufgabe aus  $conn_{B3}$  eher zu stärker verbundenen Modellen führt als eher zur ablauforientierten Modellen führende Arbeitsabstimmungs-Aufgabe aus  $conn_{B22}$ . Während bei Concept Mapping beliebige Konzepte in Beziehung stehen können, stehen Elemente bei ablauforientierten Modellen vor allem mit ihren kausalen Vorgängern und Nachfolgern in Beziehung, was die Anzahl der Verbinder einschränkt.

Aufgrund der großen Rolle der Aufgabenstellung ist bei der Überprüfung der Hypothese wichtig, diese Störvariable möglichst auszuschalten. Zur Beurteilung wird deswegen ausschließlich der Wilcoxon-Test zwischen  $conn_{B21}$  und  $conn_{B22}$  herangezogen, da in diese beiden Verteilungen mit der gleichen Aufgabenstellung und identischer Stichprobe (jedoch in zeitlichem Abstand von ca. einem Monat) zustande gekommen sind (da die Messungen unabhängig voneinander entstanden, wird ein Wilcoxon-Test für ungepaarte Variablen verwendet). Das Resultat des Wilcoxon-Tests spricht stark für die Annahme der Alternativhypothese des Tests und damit für die Annahme von Hypothese 8. Zu berücksichtigen ist hier jedoch die geringe Stichprobengröße, die die Aussagekraft des Ergebnisses wieder in Frage stellt.

## Ergebnis

Die Auswertung zeigt eine signifikant höhere Verwendung von Verbindern bei Verfügbarkeit der alternativen Funktionalität zur Verbindungs-Herstellung. Auch die Natur der Aufgabenstellung scheint hohen Einfluss auf die Verwendung von Verbindern zu haben (siehe dazu auch die Diskussion von Hypothese 14 in Abschnitt XY). **Hypothese 8 kann auf Basis der vorliegenden Daten angenommen werden.**

### 13.3.4. Verwendung des Löschtokens

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der Überprüfung der Hypothese 9 („Das Löschtoken ermöglicht intuitives Löschen von Modellelementen.“) vorgestellt.

#### Auswertung

*Die Teilnehmer möchten einen Block umbenennen.*

**A:** Wie haben wir jetzt gesagt (*markiert den roten Baustein*) keine Modellierungsvorgabe (*gibt Bezeichnung ein*) System übernimmt die neue Beschriftung für den Baustein nicht.

**A:** Wo wurde das hingeschrieben? (*Pause*) Radiergummi? Glaubst du kann man das wegradieren?

**B:** Probiere es aus.

**A legt Radiergummi zum Block mit der Absicht die Beschriftung zu löschen**

**B:** Nein! Du löscht alles. Hör auf!

**A:** Ok wie war das zuerst? Lassen wir das mal weg. (*legt Baustein zur Seite*)

*A legt den Block zur Seite.*

Ein ähnliches Missverständnis zeigt sich auch in folgender Situation:

*TLN A und B stellen jeweils ihren Marker zu den Blöcken, die verbunden werden sollen. Dabei wird eine gerichtete Verbindung erstellt.*

**C:** Jetzt haben wir aber einen Pfeil gebastelt.

**B:** Ja stimmt. Interessant.

**A:** Wie war das mit dem Radiergummi. (*nimmt Radiergummi und legt ihn auf die Verbindung*)

**B:** Nein

**C:** Nein, mit dem Glas! Du löscht alles!

**A:** Nein nur die Verbindung. (***Macht Radierbewegungen auf der Verbindung***)

**C:** Ich glaube dass wir das Glas nehmen müssen.

*A schiebt die Blöcke zwischen denen die Verbindung gelöscht werden soll zusammen.*

**A:** Da es funktioniert. (*schiebt die Blöcke weiter auseinander und bemerkt dass die Verbindung nicht gelöscht wurde*) Nein.

**B:** Ich glaube der Radiergummi vernichtet alles.

**A:** Nein der Radiergummi vernichtet nur Verbindungen. Nur welche? (*schiebt beide Blöcke wieder zusammen – nimmt Radiergummi weg und schiebt Blöcke in die Ausgangsposition*)

*Es wird eine falsche Beschriftung eingefügt. Die Teilnehmer wollen diese löschen, verwenden den Radiergummi allerdings falsch.*

**B:** Aber irgendwie steht jetzt Ereignisse nicht bei dem Ding (*zeigt auf gelben Block*) sondern dort (*zeigt auf beschriftete Verbindung*).

*A verrückt den gelben Block ein wenig.*

**B:** Normal ist das nicht oder?

**C:** Nein.

*A nimmt den Radiergummi.*

**A:** Ich glaube das. (*setzt den Radiergummi auf die Arbeitsfläche*)

**C:** Aber nicht alles!

*A nimmt Radiergummi wieder weg. System erstellt eine Verbindung zwischen zwei roten Blöcken. Teilnehmer lachen. A legt Radiergummi auf die erstellte Verbindung, und nimmt ihn wieder weg. A nimmt die beiden verbundenen Blöcke und verschiebt sie.*

**A:** Vielleicht so. (*führt die Blöcke zusammen*)

*In der Szene erstellt das System einen ungewollten Verbinder, die Teilnehmer versuchen auf verschiedene Arten den Verbinder zu löschen.*

**B:** Und wie kann ich die Verbindungen löschen?

**B:** Warte einmal, da gibt es irgendwo das mit dem Radiergummi.

**A:** murmelt zustimmend

**B nimmt den Radiergummi und platziert ihn direkt auf dem Verbinder**

*Das System färbt den Tisch rot*

**A:** Nein, warte. Da löscht du Alles!

**B verschiebt den Radiergummi auf dem Tisch, hebt ihn an und platziert ihn direkt auf einem Block.**

Sobald der Radiergummi von der Oberfläche auf den Block gelegt wurde, entfernt das System die rote Färbung.

**A:** Ich glaube da löscht du Alles.

*B legt den Radiergummi an mehreren Stellen trotz der Warnung von TN A auf die Oberfläche*

**B:** Nein, es will eh nicht.

*C versucht die Benennung eines Verbinders mittels Radiergummi zu entfernen.*

**B:** Aber irgendwie steht jetzt Ereignisse nicht bei dem Ding (deutet auf einen Block) sondern dort (deutet auf einen Verbinder). Das wollen wir nicht oder?

**A:** Nein.

**C:** Ich glaube das. (**nimmt den Radiergummi und legt ihn auf den Verbinder den die Teilnehmer entfernen wollen.**)

**A:** Aber nicht alles.

*C entfernt den Radiergummi wieder von der Modellierungsoberfläche. In diesem Moment erstellt das System automatisch einen neuen Verbinder. C versucht den neuen Verbinder mittels Radiergummi zu entfernen.*

**A:** Oh Gott.

**C:** Vielleicht so (schiebt die beiden betroffenen Blöcke zusammen), nein.

**B:** Nein.

**A:** Oh Gott oh Gott oh Gott.

**B:** Gehen wir einen Prozessschritt zurück.

**C:** Genau.

*Teilnehmer versuchen mit dem Radiergummi und nur einem anderen Marker einen Verbinder zu entfernen.*

**B:** Können wir die nicht so auch einfach löschen?

**C:** Ja mit dem Radiergummi.

**B:** Muss ich den jetzt zuerst so (Hält den Radiergummi zur Kamera) hinhalten?

**A:** Nein, ich glaube, **den musst du einfach da (zeigt auf den Verbinder) drauf legen.**

*B legt den Radiergummi auf den vom System automatisch erstellten Verbinder.*

**A:** Und jetzt muss man (legt ein Markierungstoken auf den Verbinder) Nein.

*Der Verbinder lässt sich auf diese Art nicht löschen und*

*die Teilnehmer entscheiden sich den Fehler mittels der Wiederherstellungsfunktion zu beseitigen.*

## **Diskussion**

## **Ergebnis**





# **I 4. Evaluierung der erstellten Modelle**

## **I 4.1. Hypothesen**

### **I 4.1.1. Konzeptuell begründete Hypothesen**

**Hypothese 10** *Das Werkzeug schränkt Benutzer nicht bei der Externalisierung ihrer mentalen Modelle ein.*

Offenheit, Anzahl der Element-Arten

**Hypothese 11** *Das Werkzeug ermöglicht die Repräsentation beliebig komplexer Modelle.*

Größe der Oberfläche, Einbettungen

**Hypothese 12** *Das Werkzeug ermöglicht die Abstimmung individuelle Modelle.*

kollaborative Modellbildung

**Hypothese 13** *Die Verwendung des Werkzeugs zur kollaborativen Modellierung führt zu besseren Modellen als bei der Verwendung von bildschirm-basierten Werkzeugen.*

### **I 4.1.2. Explorativ gebildete Hypothesen**

**Hypothese 14** *Zur Abbildung von Zusammenhängen ist die Verwendung von Verbindern nicht notwendig.*

Connectedness

## **14.2. Untersuchungsdesign und Durchführung**

## **14.3. Ergebnisse**

### **14.3.1. Connectedness**

# **I 5. Evaluierung der durchgeführten Articulation Work**

## **I 5.1. Hypothesen**

### **I 5.1.1. Konzeptuell begründete Hypothesen**

**Hypothese 15** *Das Werkzeug verbessert den Prozess der Abstimmung zwischen Personen.*

**Hypothese 16** *Die Anwendung des Werkzeugs verbessert die Ergebnisse kollaborativer Arbeit.*

### **I 5.1.2. Explorativ gebildete Hypothesen**

## **I 5.2. Untersuchungsdesign und Durchführung**

## **I 5.3. Ergebnisse**

# **Verzeichnisse**



# Abbildungsverzeichnis

2.1.	Struktur von Arbeitsabläufen . . . . .	8
2.2.	Konzeptualisierung von „Arbeit“ nach (Strauss, 1985) und (Fujimura, 1987) . . . . .	9
7.1.	Bedeutung von Objekten in TUIs . . . . .	42
7.2.	Interaktionsmodelle für GUI und TUI . . . . .	44
7.3.	Arten von Tangible User Interfaces . . . . .	46
7.4.	caption . . . . .	57
8.1.	Architektur des TUIpist-Framework . . . . .	79
8.2.	Zusammenspiel der Komponenten in TUIpist . . . . .	80
8.3.	AR Toolkit Marker . . . . .	81
8.4.	Visual Codes – Aufbau und Features . . . . .	82
8.5.	ReacTIVision Code . . . . .	83
8.6.	Überblick über den Aufbau des Werkzeugs – Eingabekomponenten . . . . .	91
8.7.	An Tokens angebrachte ReacTIVision-Codes zur Identifikation . . . . .	93
8.8.	Arten von Modellierungstokens . . . . .	93
8.9.	Rückwand von Container Tokens . . . . .	94
8.10.	Geöffnetes Container Token . . . . .	95
8.11.	Modellelemente – Taxonomie . . . . .	96
8.12.	Einbettbare Tokens . . . . .	97
8.13.	Markierung-Token . . . . .	98
8.14.	Lösch-Token . . . . .	99
8.15.	Registrierungstoken . . . . .	100
8.16.	Snapshot-Token . . . . .	101
8.17.	History-Token . . . . .	101
8.18.	Softwarearchitektur zur Erkennung von Benutzerinteraktion . . . . .	114
9.1.	Überblick über den Aufbau des Werkzeugs – Ausgabekomponenten . . . . .	142
9.2.	Softwarearchitektur zur Verwaltung der Ausgabekanäle . . . . .	149
9.3.	Darstellung von Modellelementen . . . . .	150
9.4.	Darstellung von Verbindern . . . . .	151
9.5.	Darstellung gerichteter Verbinden . . . . .	151

9.6.	Darstellung von Containern und eingebetteten Elementen . . . . .	152
9.7.	Markierung von Modellelementen . . . . .	154
9.8.	Darstellung der Modellierungshistorie . . . . .	156
9.9.	Unterstützung der Wiederherstellung von Modellzuständen . . . . .	157
9.10.	Zusammenhänge der Klassen zur Ausgabebehandlung . . . . .	159
10.1.	Grundlegende Elemente einer Topic Map . . . . .	168
10.2.	Umfassende Darstellung der Elemente einer Topic Map . . . . .	170
10.3.	Abgrenzung zwischen Subject und Occurrence in Topic Maps . . . . .	171
10.4.	Benennung von Topics . . . . .	172
10.5.	Beziehungen in der Metamodellbildung in Topic Maps . . . . .	175
10.6.	Abbildung von Gültigkeitsbereichen durch Scopes . . . . .	178
10.7.	Abbildung von Modellinformation in Topic Maps . . . . .	180
10.8.	Definition des Meta-Models (ohne Kardinalitäten) . . . . .	183
10.9.	Einbindung des Meta-Meta-Modells . . . . .	185
10.10.	Ausschnitt einer mittels GraphViz visualisierten Topic Map . . . . .	189
10.11.	Modellierungshistorie als exportierte Grafik . . . . .	191
10.12.	Modell-Hierarchie als exportierte Grafik . . . . .	193
13.1.	Dauer der Werkzeugverwendung – Überblick . . . . .	251
13.2.	Dauer der Werkzeugverwendung – Concept Mapping . . . . .	252
13.3.	Dauer der Werkzeugverwendung – Aushandlung . . . . .	252
13.4.	Zeitverteilung in Evaluierungsblock 2 - Durchgang 1 . . . . .	254
13.5.	Zeitverteilung in Evaluierungsblock 2 - Durchgang 2 . . . . .	254
13.6.	Zeitverteilung in Evaluierungsblock 3 . . . . .	255
13.7.	Connectedness in Evaluierungsblock 2 - Durchgang 1 . . . . .	256
13.8.	Connectedness in Evaluierungsblock 2 - Durchgang 2 . . . . .	256
13.9.	Connctedness in Evaluierungsblock 3 . . . . .	256

# Tabellenverzeichnis

7.1.	Kategorien von konzeptionellen Arbeiten im Gebiet Tangible User Interfaces . . . . .	61
7.2.	Gegenüberstellung der Nomenklatur zur Beschreibung der Elemente eines TUI . . . . .	63
8.1.	Gegenüberstellung der Frameworks für video-basierten Input . . . .	87
8.2.	Gegenüberstellung der generischen Frameworks . . . . .	89
11.1.	Beurteilung des Werkzeugs hinsichtlich des Degree of Coherence . .	212
11.2.	Spezifikation des Werkzeug mittels TAC-Schema . . . . .	214
11.3.	Einordnung des Systems in die Taxonomie nach Fishkin . . . . .	218
12.1.	Ursprüngliches globales Untersuchungsdesign . . . . .	238
12.2.	Einfluss der Untersuchungen auf die zu evaluierenden Aspekte . . . .	238





# Index

AR Toolkit, 81

Barcode, 68

Bluetooth, 74

Context Toolkit, 76

Positionsbestimmung, 68

akustisch, 71

elektromagnetisch, 70

kapazitiv, 69

optisch, 68

ReacTIVision, 82

RFID, 70

SmartIT, 73

Token

aktive, 73

passive, 72

Ultraschall, 71

Visual Codes, 81

ZigBee, 74



# Abkürzungsverzeichnis

API	Application Interface
AWT	Abstract Window Toolkit
CSCW	Computer Supported Cooperative Work
EMF	Eclipse Modeling Framework
EPK	Ereignisgesteuerte Prozesskette
GEF	Graphical Editing Framework (Eclipse-Komponente)
GIF	Graphics Interchange Format
GMF	Graphical Modeling Framework (Eclipse-Komponente)
GPS	Global Positioning System
GUI	Graphical User Interface
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
IP	Internet Protocol
JPEG	Joint Photographic Experts Group (File Interchange Format)
JRE	Java Runtime Environment
LCD	Liquid Crystal Display (Flüssigkristallanzeige)
LED	Light Emitting Diode (Leuchtdiode)
MCRit	Model-Control-Representation (intangible and tangible)
MCRpd	Model-Control-Representation (physical and digital)
MVC	Model-View-Controller
OCR	Optical Character Recognition
OLED	Organic Light Emitting Diode

PNG	Portable Network Graphics
RDBMS	Relationales Datenbank Management System
RFID	Radio Frequency Identification
RMI	Remote Methode Invocation
TAC	Token and Constraint
TCP	Transport Control Protocol
TUI	Tangible User Interface
UML	Unified Modelling Language
XML	Extensible Markup Language
XTM	XML Topic Map



# Literaturverzeichnis

- Allied Vision Technologies GmbH (2008). AVT Guppy. Technical Manual V6.2.0, Allied Vision Technologies GmbH, Stadtroda, Germany. Referenziert auf S. 102
- Arnold, K., Scheifler, R., Waldo, J., O'Sullivan, B., und Wollrath, A. (1999). *Jini Specification*. Addison-Wesley Longman Publishing, Boston, MA, USA. Referenziert auf S. 80, 88
- Becker, J., Rosemann, M., und von Uthmann, C. (2000). Guidelines of business process modeling. In van der Aalst, W., Sedel, J., und Oberweis, A., editors, *Business Process Management: Models, Techniques, and Empirical Studies*, number 1806 in LNCS, Seiten 241–262. Springer. Referenziert auf S. 225
- Beer, W., Christian, V., Ferscha, A., und Mehrmann, L. (2003). Modeling Context-aware Behavior by Interpreted ECA Rules. In *Proceedings of the International Conference on Parallel and Distributed Computing (EUROPAR '03)*, volume 2790 of LNCS, Seiten 1064–1073. Springer. Referenziert auf S. 77
- Bellotti, V., Back, M., Edwards, W., Grinter, R., Henderson, A., und Lopes, C. (2002). Making sense of sensing systems: five questions for designers and researchers. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems: Changing our world, changing ourselves*, Seiten 415–422. ACM New York, NY, USA. Referenziert auf S. 47, 210, 211
- Blackwell, A., Morrison, C., und Edge, D. (2007). A solid diagram metaphor for tangible interaction. In *CHI '07 extended abstracts on Human factors in computing systems*, New York, NY, USA. ACM. Referenziert auf S. 66
- Bloks, R. H. J. (1996). The IEEE-1394 high speed serial bus. *Philips Journal of Research*, 50(1-2):209–216. Referenziert auf S. 102
- Bluetooth SIG (2007). Bluetooth Specification Version 2.1 + EDR. Specification, Bluetooth SIG. Referenziert auf S. 74
- Brant, J. M. (1995). HotDraw. Master's thesis, University of Illinois at Urbana Champaign. Referenziert auf S. 143

- Budinsky, F., Brodsky, S., und Merks, E. (2003). *Eclipse modeling framework*. Pearson Education. Referenziert auf S. 143
- Cañas, A., Hill, G., Carff, R., Suri, N., Lott, J., Eskridge, T., Gómez, G., Arroyo, M., und Carvajal, R. (2004). Cmaptools: A knowledge modeling and sharing environment. In *Concept Maps: Theory, Methodology, Technology, Proceedings of the 1st International Conference on Concept Mapping. Pamplona, Spain: Universidad Pública de Navarra*. Referenziert auf S. 232, 235
- Carriero, N. und Gelernter, D. (1989). Linda in context. *Communications of the ACM*, 32(4):444–458. Referenziert auf S. 78
- Comiskey, B., Albert, J., Yoshizawa, H., Jacobson, J., by Michaels, C., et al. (1998). An electrophoretic ink for all-printed reflective electronic displays. *Nature*, 394:253–255. Referenziert auf S. 137
- Coutrix, C. und Nigay, L. (2006). Mixed reality: a model of mixed interaction. In *Proceedings of the working conference on Advanced visual interfaces*, Seiten 43–50, New York, NY, USA. ACM Press. Referenziert auf S. 34
- Curbera, F., Duftler, M., Khalaf, R., Nagy, W., Mukhi, N., und Weerawarana, S. (2002). Unraveling the Web services web: an introduction to SOAP, WSDL, and UDDI. *IEEE Internet Computing*, 6(2):86–93. Referenziert auf S. 88
- Dann, H.-D. (1992). Variation von Lege-Strukturen zur Wissensrepräsentation. In Scheele, B., editor, *Struktur-Lege-Verfahren als Dialog-Konsens-Methodik. Ein Zwischenfazit zur Forschungsentwicklung bei der rekonstruktiven Erhebung subjektiver Theorien*, volume 25 of *Arbeiten zur sozialwissenschaftlichen Psychologie*, Seiten 2–41. Aschendorff. Referenziert auf S. 21
- Dey, A. K., Salber, D., und Abowd, G. D. (2001). A conceptual framework and a toolkit for supporting the rapid prototyping of context-aware applications. *Human-Computer Interaction (HCI) Journal*, 16(2-4):97–166. Referenziert auf S. 76, 78
- Downing, T. (1998). *Java RMI: remote method invocation*. IDG Books Worldwide, Inc., Foster City, CA, USA. Referenziert auf S. 88
- Ellson, J., Gansner, E., Koutsofios, L., North, S., und Woodhull, G. (2002). Graphviz—open source graph drawing tools. In *Graph Drawing, Lecture Notes in Computer Science*, Seiten 483–484. Springer. Referenziert auf S. 188
- Emery, F. und Trist, E. (1960). Socio-technical systems. *Management science, models and techniques*, 2:83–97. Referenziert auf S. 11



- Feiner, T. (2008). Modelleditor auf Basis dynamischer Metamodelle zur Unterstützung partizipativer Modellerfassung und -reflexion. Master's thesis, University of Linz. Referenziert auf S. 144, 165
- Ferscha, A., Vogl, S., Emsenhuber, B., und Wally, B. (2008). Physical shortcuts for media remote controls. In *Proceedings of the 2nd international conference on Intelligent TEchnologies for interactive enterTAINment table of contents*. ICST (Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering) ICST, Brussels, Belgium, Belgium. Referenziert auf S. 74
- Fishkin, K. P. (2004). A taxonomy for and analysis of tangible interfaces. *Personal and Ubiquitous Computing*, 8(5):347–358. Referenziert auf S. 34, 50, 53, 54, 55, 61, 62, 133, 134, 135, 138, 141, 164, 213, 218, 220
- Fitzmaurice, G. (1996). *Graspable User Interfaces*. Phd-thesis, University of Toronto. Referenziert auf S. 32, 34, 36, 37, 62, 202, 222
- Fitzmaurice, G., Ishii, H., und Buxton, W. (1995). Bricks: laying the foundations for graspable user interfaces. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems (CHI)*, Seiten 442–449. ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co. New York, NY, USA. Referenziert auf S. 32, 34, 36, 62, 199, 200, 201, 222
- Fjeld, M. (2001). *Designing for tangible interaction*. PhD thesis, Swiss Federal Institute of Technology. Referenziert auf S. 66
- Fjuk, A., Nurminen, M., und Smørdal, O. (1997). Taking Articulation Work Seriously: An Activity Theoretical Approach. Technical Report TUCS TR 120, Turku Centre for Computer Science. Referenziert auf S. 10, 11, 225
- Fujimura, J. (1987). Constructing 'Do-Able' Problems in Cancer Research: Articulating Alignment. *Social Studies of Science*, 17(2):257–293. Referenziert auf S. 7, 9, 226, III
- Furtmüller, F. (2007). Implementierung eines Frameworks für berührbare Benutzungsschnittstellen. Master's thesis, University of Linz. Referenziert auf S. 78
- Furtmüller, F. und Oppl, S. (2007). A Tuple-Space based Middleware for Collaborative Tangible User Interfaces. In *Proceedings of WETICE '07*. IEEE Press. Referenziert auf S. 78, 79, 80, 132
- Gamma, E. und Eggenschwiler, T. (1996). The JHotDraw-Framework. online <http://www.jhotdraw.org/>. Referenziert auf S. 143, 165

- Gamma, E., Helm, R., Johnson, R., und Vlissides, J. (1995). *Design patterns: elements of reusable object-oriented software*. Addison-wesley Reading, MA. Referenziert auf S. 115, 127, 131
- Gellersen, H., Kortuem, G., Schmidt, A., und Beigl, M. (2004). Physical prototyping with smart-its. *IEEE Pervasive Computing*, 3(3):74–82. Referenziert auf S. 73
- Gerson, E. und Star, S. (1986). Analyzing due process in the workplace. *ACM Transactions on Information Systems (TOIS)*, 4(3):257–270. Referenziert auf S. 8
- Glaser, B. und Strauss, A. (1977). *The discovery of grounded theory: Strategies for qualitative research*. Aldine. Referenziert auf S. 13
- GS1 (2008). Introduction to GS1 DataMatrix. Guideline, GS1. Referenziert auf S. 82
- Hampson, I. und Junor, A. (2005). Invisible work, invisible skills: interactive customer service as articulation work. *New Technology, Work & Employment*, 20(2):166 – 181. Referenziert auf S. 10, 11
- Hanke, U. (2006). *Externale Modellbildung als Hilfe bei der Informationsverarbeitung und beim Lernen*. PhD thesis, University of Freiburg. Referenziert auf S. 15
- Herrmann, T., Hoffmann, M., Kunau, G., und Loser, K. (2004). A modelling method for the development of groupware applications as socio-technical systems. *Behaviour & Information Technology*, 23(2):119–135. Referenziert auf S. 232
- Holmquist, L., Redström, J., und Ljungstrand, P. (1999). Token-Based Access to Digital Information. In *Proceedings of the 1st international Symposium on Handheld and Ubiquitous Computing*, Seiten 234–245. Springer-Verlag London, UK. Referenziert auf S. 34, 40, 55, 62, 204, 205
- Hornecker, E. (2004). *Tangible User Interfaces als kooperationsunterstützendes Medium*. PhD-Thesis, University of Bremen. Dept. of Computing. Referenziert auf S. 65
- Hughes, F. (1971). *The Sociological Eye*. Aldine de Gruyter. Referenziert auf S. 7, 10
- Ifenthaler, D. (2006). *Diagnose lernabhängiger Veränderung mentaler Modelle - Entwicklung der SMD-Technologie als methodologisches Verfahren zur relationalen, strukturellen und semantischen Analyse individueller Modellkonstruktionen*. PhD thesis, University of Freiburg. Referenziert auf S. 226
- Ishii, H. (2008). Tangible bits: beyond pixels. In *Proceedings of the 2nd international conference on Tangible and embedded interaction*. ACM New York, NY, USA. Referenziert auf S. 34, 56, 57, 58, 59, 60, 62, 65, 221, 222

- Ishii, H. und Ullmer, B. (1997). Tangible bits: towards seamless interfaces between people, bits and atoms. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems (CHI)*, Seiten 234–241. ACM Press New York, NY, USA. Referenziert auf S. 32, 34, 38, 62, 203, 204
- ISO JTC1/SC31 (2006). Information technology – automatic identification and data capture techniques – qr code 2005 bar code symbology specification. International Standard 18004:2006, ISO/IEC. Referenziert auf S. 69, 82
- ISO JTC1/SC34 (2008). Topic Maps Constraint Language. draft standard, ISO/IEC. Referenziert auf S. 176
- ISO JTC1/SC34/WG3 (2006). Information Technology - Topic Maps - Part 3: XML Syntax. International standard, ISO. Referenziert auf S. 188
- ISO JTC1/SC34/WG3 (2008). Information Technology - Topic Maps - Part 2: Data Model. International Standard 13250-2, ISO/IEC. Referenziert auf S. 168, 172, 187
- James, M. (1997). *Microcontroller Cookbook - PIC & 8051*. Butterworth-Heinemann. Referenziert auf S. 73
- Johnson-Laird, P. N. (1981). Mental models in cognitive science. *Cognitive Science*, 4(1):71–115. Referenziert auf S. 17
- Jørgensen, H. (2004). *Interactive Process Models*. PhD thesis, Department of Computer and Information Sciences, Norwegian University of Science and Technology Trondheim. Referenziert auf S. 225
- Kaltenbrunner, M. und Bencina, R. (2007). reactivation: a computer-vision framework for table-based tangible interaction. In *TEI '07: Proceedings of the 1st international conference on Tangible and embedded interaction*, Seiten 69–74, New York, NY, USA. ACM Press. Referenziert auf S. 82, 132
- Kaltenbrunner, M., Jorda, S., Alonso, M., und Geiger, G. (2006). The reactable\*: A collaborative musical instrument. In *Proceedings of WETICE '06*. IEEE Press. Referenziert auf S. 138, 140
- Kato, H., Billingham, M., Poupyrev, I., Imamoto, K., und Tachibana, K. (2000). Virtual object manipulation on a table-top AR environment. In *IEEE and ACM International Symposium on Augmented Reality, 2000. (ISAR 2000). Proceedings*, Seiten 111–119. Referenziert auf S. 69, 81
- Klemmer, S., Li, J., Lin, J., und Landay, J. (2004). Papier-mâché: Toolkit support for tangible input. *CHI Letters, Human Factors in Computing Systems: CHI2004*, 6(1). Referenziert auf S. 34, 52, 77, 217

- Klemmer, S., Thomsen, M., Phelps-Goodman, E., Lee, R., und Landay, J. (2002). Where do web sites come from? capturing and interacting with design history. *chi 2002. Human Factors in Computing Systems, CHI Letters*, 4(1). Referenziert auf S. 241
- Koleva, B., Benford, S., Ng, K., und Rodden, T. (2003). A Framework for Tangible User Interfaces. In *Workshop-Proceedings on Real World User Interfaces, Mobile HCI Conference 03*, Seiten 257–264. Referenziert auf S. 34, 48, 62, 211, 212, 213
- Larkin, J. und Simon, H. (1987). Why a diagram is (sometimes) worth ten thousand words. *Cognitive science*, 11(1):65–100. Referenziert auf S. 245
- Leont’ev, A. (1978). *Activity, Consciousness, and Personality*. Prentice-Hall. Referenziert auf S. 11
- McAffer, J. und Lemieux, J. (2005). *Eclipse Rich Client Platform: Designing, Coding, and Packaging Java (TM) Applications*. Addison-Wesley Professional. Referenziert auf S. 145
- Neubauer, M. (2008). Abbildung generischer Modelle auf Topic Maps. Master’s thesis, University of Linz. Referenziert auf S. 186, 187
- Nonaka, I. und Takeuchi, H. (1995). *The Knowledge-Creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation*. Oxford University Press. Referenziert auf S. 10
- Norman, D. (1983). Some observations on mental models. In Gentner, D. und Stevens, A., editors, *Mental models*, Seiten 7–14. Lawrence Erlbaum Associates. Referenziert auf S.
- Novak, J. und Cañas, A. J. (2006). The theory underlying concept maps and how to construct them. Technical Report IHMC CmapTools 2006-01, Florida Institute for Human and Machine Cognition. Referenziert auf S. 226
- Oppl, S. (2004). Context-aware Group-Interaction. Master’s thesis, University of Linz, Department for Pervasive Computing. Referenziert auf S. 77
- Oppl, S. (2007). Flexibility of Content for Organisational Learning - A Topic Map Approach. Master’s thesis, University of Linz. Referenziert auf S. 187
- Oppl, S. und Stry, C. (2005). Towards Human-Centered Design of Diagrammatic Representation Schemes. In Dix, A. und Dittmar, A., editors, *Proceedings of the 4th International Workshop on Task Models and Diagrams for User Interface Design (TAMODIA 2005)*, Seiten 55–62. ACM Press New York, NY, USA. Referenziert auf S. 179

- Patten, J. und Ishii, H. (2007). Mechanical constraints as computational constraints in tabletop tangible interfaces. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems (CHI '07)*, Seiten 809–818, New York, NY, USA. ACM. Referenziert auf S. 32
- Patten, J., Ishii, H., Hines, J., und Pangaro, G. (2001). Sensetable: a wireless object tracking platform for tangible interfaces. In *Proceedings of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems 2001 (CHI '01)*. Referenziert auf S. 66
- Pedersen, E. W. und Hornb, K. (2009). mixitui: a tangible sequencer for electronic live performances. In *TEI '09: Proceedings of the 3rd International Conference on Tangible and Embedded Interaction*, Seiten 223–230, New York, NY, USA. ACM. Referenziert auf S. 138, 140
- Pepper, S. (2000). The tao of topic maps. In *Proceedings of XML Europe*. Referenziert auf S. 168
- Rath, H. (2003). *The Topic Maps Handbook*, empolis GmbH. Referenziert auf S. 168
- Red Hat Middleware (2007). Hibernate Reference Documentation. Reference documentation, Red Hat Middleware. Referenziert auf S. 188
- Resnick, M., Martin, F., Berg, R., Borovoy, R., Colella, V., Kramer, K., und Silverman, B. (1998). Digital manipulatives: new toys to think with. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, Seiten 281–287, New York, NY, USA. ACM Press. Referenziert auf S. 32
- Rohs, M. (2005). Visual code widgets for marker-based interaction. In *25th IEEE International Conference on Distributed Computing Systems Workshops, 2005*, Seiten 506–513. IEEE Press. Referenziert auf S. 82
- Rohs, M. und Gfeller, B. (2004). Using camera-equipped mobile phones for interacting with real-world objects. In *Advances in Pervasive Computing*, Seiten 265–271. Austrian Computer Society (OCG). Referenziert auf S. 82, XI
- Rumbaugh, J., Jacobson, I., und Booch, G. (2004). *Unified Modeling Language Reference Manual, The*. Pearson Higher Education. Referenziert auf S. 180, 184, 186
- Rumelhart, D. und Norman, D. (1978). Accretion, tuning, and restructuring: Three modes of learning. In Cotton, J. und Klatzky, R., editors, *Semantic factors in cognition*, Seiten 37–53. Erlbaum, Hillsdale, N.J. Referenziert auf S. 15
- Scheer, A. und Nuettgens, M. (2000). Aris architecture and reference models for business process management. *Business Process Management: Models, Techniques, and Empirical Studies*, Seiten 376–389. Referenziert auf S. 232

- Scheer, A.-W. (2003). *ARIS – Business Process Modeling*. Springer, 3 edition. Referenziert auf S. 186
- Schilit, B., Adams, N., und Want, R. (1994). Context-aware computing applications. In *Proceedings of the Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, Seiten 85–90. Referenziert auf S. 76
- Schmidt, K. (1990). Analysis of Cooperative Work. A Conceptual Framework. Technical Report Risø-M-2890, Risø National Laboratory. Referenziert auf S. 10
- Seel, N. M. (1991). *Weltwissen und mentale Modelle*. Hogrefe, Göttingen u.a. Referenziert auf S. 15
- Semmer, N. und Udris, I. (2004). Bedeutung und Wirkung von Arbeit. In Schuler, H., editor, *Lehrbuch Organisationspsychologie*, Seiten 157–195. Huber, Bern, 3rd edition. Referenziert auf S. 8
- Shaer, O., Leland, N., Calvillo-Gamez, E., und Jacob, R. (2004). The TAC paradigm: specifying tangible user interfaces. *Personal and Ubiquitous Computing*, 8(5):359–369. Referenziert auf S. 34, 51, 61, 62, 65, 214
- Shinar, J. (2004). *Organic light-emitting devices: a survey*. Springer. Referenziert auf S. 137
- Shipman, F. und Hsieh, H. (2000). Navigable history: a reader's view of writer's time. *New review of hypermedia and multimedia*, 6(1):147–167. Referenziert auf S. 29, 241
- Siegrist, J. (2005). *Medizinische Soziologie*. Elsevier, Deutschland. Referenziert auf S. 13
- Stachowiak, H. (1973). *Allgemeine Modelltheorie*. Springer Wien. Referenziert auf S. 169
- Stary, C. (1994). *Interaktive Systeme: Softwareentwicklung und Softwareergonomie*. Vieweg. Referenziert auf S. 80
- Strauss, A. (1985). Work and the Division of Labor. *The Sociological Quarterly*, 26(1):1–19. Referenziert auf S. 7, 9, 13, III
- Strauss, A. (1988). The Articulation of Project Work: An Organizational Process. *The Sociological Quarterly*, 29(2):163–178. Referenziert auf S. 9, 10
- Strauss, A. (1993). *Continual Permutations of Action*. Aldine de Gruyter, New York. Referenziert auf S. 8, 10, 14, 15, 226, 227
- Suzuki, H. und Kato, H. (1995). Interaction-level support for collaborative learning: AlgoBlock—an open programming language. In *Proceedings of the first international conference on Computer support for collaborative learning table of contents*, Seiten 349–355, Hillsdale, NJ, USA. L. Erlbaum Associates Inc. Referenziert auf S. 32

- Ullmer, B. (2002). *Tangible interfaces for manipulating aggregates of digital information*. PhD thesis, Massachusetts Institute of Technology. Referenziert auf S. 34, 46, 51, 61, 62
- Ullmer, B. und Ishii, H. (1997). The metaDESK: models and prototypes for tangible user interfaces. In *Proceedings of the 10th annual ACM symposium on User interface software and technology*, Seiten 223–232, New York. ACM Press. Referenziert auf S. 38, 45, 203, 204
- Ullmer, B. und Ishii, H. (2000). Emerging frameworks for tangible user interfaces. *IBM Systems Journal*, 39(3):915–931. Referenziert auf S. 34, 43, 44, 48, 55, 56, 62, 63, 133, 207, XI
- Ullmer, B., Ishii, H., und Jacob, R. (2005). Token + constraint systems for tangible interaction with digital information. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, 12(1):81–118. Referenziert auf S. 46, 47, 56, 58, 209, 210, 211, 221
- Underkoffler, J. und Ishii, H. (1999). Urp: A luminous-tangible workbench for urban planning and design. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems: the CHI is the limit*, Seiten 386–393. ACM New York, NY, USA. Referenziert auf S. 34, 42, 55, 62, 206
- Van Laerhoven, K., Villar, N., Schmidt, A., Gellersen, H., Hakansson, M., und Holmquist, L. (2003). Pin&Play: the surface as network medium. *IEEE Communications Magazine*, 41(4):90–95. Referenziert auf S. 73
- Vatant, B. (2004). Ontology-driven Topic Maps. In *Proceedings of XML Europe 2004*, Amsterdam. Referenziert auf S. 168
- Wagner, D. und Schmalstieg, D. (2003). ARToolKit on the PocketPC platform. In *IEEE International Augmented Reality Toolkit Workshop, 2003*, Seiten 14–15. IEEE Press. Referenziert auf S. 85
- Weiser, M. (1991). The computer for the 21st century. *Scientific American*, 265. Referenziert auf S. 38, 75
- Wellner, P. (1993). Interacting with paper on the DigitalDesk. *Communications of the ACM*, 36:87–96. Referenziert auf S. 32
- ZigBee Alliance (2007). Zigbee Specification. Specification 117, ZigBee Alliance. Referenziert auf S. 74
- Zuckerman, O., Arida, S., und Resnick, M. (2005). Extending tangible interfaces for education: digital montessori-inspired manipulatives. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems (CHI)*, Seiten 859–868. ACM Press New York, NY, USA. Referenziert auf S. 32, 137