

Benutzungsschnittstellen für Kooperation¹

Alexander Kulik²

Abstract:

Benutzungsschnittstellen für Kooperation bieten Nutzerinnen mehr Spielraum für parallele Aktivitäten und deren Kombination. Dadurch werden mehr Flexibilität und Ausdrucksmöglichkeiten realisierbar. Darüber hinaus können interaktive Systeme durch Synergieeffekte kooperativer Eingaben auch effizienter bedient werden. Dieses Interaktionsmuster ist für zweihändige Eingaben und die Nutzung mehrerer Finger, z.B. beim Maschinenschreiben, genauso anwendbar wie für die direkte Zusammenarbeit mehrerer Personen. Kooperation als Gestaltungsparadigma für Benutzungsschnittstellen fördert dadurch auch die Entwicklung sozialer Benutzungsschnittstellen – für die direkte und zeitgleiche Zusammenarbeit von Gruppen wechselnder Größe mit gemeinsamen interaktiven Anwendungen.

1 Einleitung

Die meisten Schnittstellen zwischen Mensch und Computer sind im Vergleich zur Diversität ihrer Anwendungen äußerst einheitlich. Sie wurden für einzelne Nutzer gestaltet und sind auf Einfachheit optimiert. Einige wesentliche Funktionen sind nur einen Tastendruck entfernt, doch komplexere Eingaben erfordern lange Sequenzen von Funktionsaufrufen, die kinästhetisch kaum zu unterscheiden sind.

Viele Prozesse ließen sich mit komplexeren und stärker spezialisierten Eingaben effektiver steuern, doch aktuelle Benutzungsschnittstellen limitieren den sinnvollen Einsatz unserer motorischen, kognitiven und sozialen Fähigkeiten. In vielen Forschungsarbeiten lässt sich dagegen ein Trend zu Benutzungsschnittstellen für komplexe motorische Eingaben als auch zur gleichzeitigen Interaktion mehrerer Personen beobachten. Diese Entwicklungen fasse ich unter dem Titel “Benutzungsschnittstellen für Kooperation” zusammen.

Der Begriff der Kooperation verweist meist auf zwischenmenschliche Zusammenarbeit. Er wird jedoch auch verwendet zur Beschreibung des Zusammenspiels verschiedener Körpergliedmaßen [Gu88, HRHM96, Wi96, Hi97] oder auch verschiedener Modalitäten wie Stimme und Gestik [Ma98, ZMI99]. In meiner Arbeit steht Kooperation allgemein für die gleichzeitige Bedienung (Ko-Operation) einer Schnittstelle durch mehrere Entitäten.

Auf Grundlage einer umfassenden Literaturrecherche identifizierte ich *Kohärenz*, *Komplementarität* und *Territorialität* als die grundlegenden Themen der Gestaltung effektiver Benutzungsschnittstellen für Kooperation. Im Rahmen iterativer Schnittstellenentwicklungen leitete ich davon Gestaltungsprinzipien ab, deren Tragfähigkeit durch Experimente und Fallstudien bestätigt wurde (siehe Abschnitt 4 und 5).

¹ Englischer Titel der Dissertation: “User Interfaces for Cooperation”

² Bauhaus-Universität Weimar, Systeme der Virtuellen Realität, kulik@uni-weimar.de

Die Effekte kooperativer Interaktion lassen sich am Beispiel vieler früherer Schnittstellenentwicklungen zeigen. Ich betrachte vor allem solche für Bewegungseingaben. Obgleich die jeweiligen Bewegungen selten vergleichbar sind, lässt sich deren Effektivität im Sinne von Fitts' Gesetz annähern [Fi54]. Aus einer Reihe verwandter Arbeiten leite ich Referenzmaße für zweidimensionale und dreidimensionale Translation, Rotation sowie deren Kombination in realen und virtuellen Umgebungen ab. Dabei fällt unter anderem auf, dass reale Umgebungen offenbar höhere Leistungen erlauben und diese kaum abhängig von Bewegungsarten und den involvierten Freiheitsgraden sind. Die Effektivität digitaler Schnittstellen dagegen, scheint mit steigender Anzahl der Freiheitsgrade zu sinken.

Die Strukturierung der involvierten Freiheitsgrade kann einen wesentlichen Einfluss darauf haben. Jacob et al. schlugen vor, diesen Aspekt der Schnittstellengestaltung von der wahrgenommenen Integralität und Separabilität der betroffenen Dimensionen abhängig zu machen, so dass nur integral wahrgenommene Attribute auch simultan manipuliert werden [Ja94]. Die Idee geht zurück auf Garner, der sich mit den mentalen Prozessen unwillkürlicher Wahrnehmung beschäftigte, nicht jedoch mit Manipulation [Ga74]. In meiner Arbeit zeige ich dass die populäre Übertragung von Garners Theorie auf die Gestaltung von Schnittstellen für deren Manipulation [Ja94] nicht tragfähig ist und schlage alternative Herangehensweisen vor.

2 Kooperation

Kooperation ermöglicht in vielen Situationen höhere Effizienz, Ausdruckskraft und Flexibilität. Die hochgradig koordinierte Kooperation unserer Gliedmaßen bei der Bedienung komplexer Instrumente, beim Modellieren mit Ton oder beim Laufen sind beeindruckende Beispiele dafür. Orchester und Tanzgruppen zeigen, dass auch mehreren Personen ihre Aktivitäten vergleichbar eng aufeinander abstimmen können. Die erforderliche Koordination ist dabei sicher schwieriger, aber auch in vielen alltäglichen Situationen, gelingt uns effektive zwischenmenschliche Kooperation.

Unser Bewegungsapparat basiert auf Gelenken. Jede geradlinige Bewegung ist daher eine Kooperation von mindestens zwei Gliedmaßen, doch meist sind noch wesentlich mehr Freiheitsgrade involviert als unbedingt nötig. Die scheinbare Redundanz ermöglicht wechselseitige Fehlerkompensation [Be67, La12]. Solche Synergieeffekte lassen sich nicht nur in den Bewegungsabläufen zusammenhängender Gliedmaßen beobachten sondern genauso zwischen Aktivitäten der linken und rechten Körperhälfte als auch zwischen verschiedenen Personen [Mo01, Ri11]. Zudem scheint die Koordination kooperativer Aktivitäten in allen Fällen hierarchischen Kontrollstrukturen zu unterliegen [Be67, Wi96, LC11].

Die Koordination zwischen zusammenhängenden Gliedmaßen und zwischen mehreren kooperierenden Menschen folgen teilweise sehr ähnlichen Mustern. Dies gilt vor allem für die zeitliche Synchronisation der Aktivitäten [Wi96, Sc98, Mo01, Ri11, Fr01, Me01]. Daher müssen unterschiedliche Fälle von Benutzungsschnittstellen für Kooperation nicht völlig unabhängig betrachtet werden. Ein Arbeitsplatz, der mehrere Interaktionsmöglichkeiten parallel für mehrere Personen anbietet, kann zumindest teilweise auch von einer Person mit mehreren Händen und/oder anderen Eingabemodalitäten bedient werden.

3 Verwandte Arbeiten und weitere Anforderungen

Viele etablierte Benutzungsschnittstellen und Forschungsprototypen unterstützen kooperative Eingaben mit zwei Händen, von mehreren Personen oder auch durch verschiedene Modalitäten. Gemeinsam ist diesen teilweise sehr unterschiedlichen Schnittstellen das Versprechen erweiterter Ausdrucksmöglichkeiten durch die Kombination simultaner Ein- und Ausgaben.

Im Bereich der zweihändigen Interaktion finden sich besonders viele Beispiele, die das Potential kooperativer Interaktion eindrucksvoll belegen (z.B. [Hi98, Hi10]). Maschinenschreiben im Zehnfingersystem ist sicher eine der leistungsstärksten Interaktionsmethoden [Ro10]. Der Erfolg anderer zweihändiger Schnittstellen basiert oft auf Guiards Modell einer asymmetrischen Arbeitsteilung zwischen beiden Händen [Gu87]. Voraussetzung dafür ist die technische Unterscheidbarkeit der beiden Hände in ihren Rollen. Ich konnte zeigen, dass dies auf Grundlage der Messung zeitlicher Abfolgen möglich ist [KDF12]

Schnittstellen für die Kollaboration mehrerer Personen sind weniger etabliert. Konkrete Vorteile konnten nur selten formal nachgewiesen werden (z.B. [Is12]). Statt dessen scheint der Mehraufwand zur gegenseitigen Wahrnehmung und Koordination die potentiellen Vorteile der Zusammenarbeit häufig zu überwiegen [RSJ02, PBF02, Mo04]. Grund dafür ist sicher auch die kurze Einarbeitungszeit im Rahmen formaler Studien. Häufig werden aber auch wichtige Anforderungen kollaborativer Systeme (z.B. [BGG01, GG02]) vernachlässigt. Dies gilt vor allem für die gegenseitige Wahrnehmbarkeit in einem kohärenten Interaktionsraum und die Unterstützung wechselnder Phasen unterschiedlich enger Zusammenarbeit. Neben der Kohärenz des Interaktionsraumes bedarf es zudem struktureller Flexibilität zur dynamischen Aufteilung gemeinsamer Arbeitsräume in private und gemeinsam genutzte Teilbereiche (Territorialität [Sc04]) sowie ein Set komplementärer Werkzeuge deren Funktionalitäten sich ergänzen statt behindern [Be00].

Die Vorteile multimodaler Interaktion erscheinen auf den ersten Blick offensichtlich [Ov00]. Bisher konnten die prototypischen Systeme diese Erwartungen jedoch kaum überzeugend einlösen. Gründe dafür liegen zum Teil im Lernaufwand der vorgeschlagenen multimodalen Eingabekombinationen. Bei der Gestaltung multimodaler Schnittstellen, vor allem bei Kombinationen mit Spracheingabe, wird darüber hinaus deren Anwendbarkeit in sozialen Kontexten nicht ausreichend berücksichtigt.

Die potentiellen Anwendungen multimodaler Schnittstellen wurden von Martin nach Kooperationsmustern klassifiziert [Ma98]. Die von ihm vorgeschlagenen Kategorien *Spezialisierung*, *Äquivalenz*, *Redundanz*, *Komplementarität*, und *Transfer* finden ihre Entsprechung auch in Fällen zweihändiger Kooperation und bei der Zusammenarbeit mehrerer Personen. Ich schlage entsprechende Erweiterungen ihrer Definitionen vor und stelle sie in Beziehung zu anderen etablierten Kooperationsmustern wie Arbeitsteilung und Guiards kinematischer Kette [Gu87].

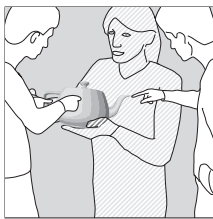
3.1 Gestaltungsprinzipien

Aus den oben beschriebenen Anforderungen leite ich folgende Gestaltungsprinzipien ab:

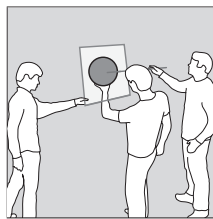
Kohärenter Interaktionsraum: In einem kohärenten Interaktionsraum stehen die Eingaben aller Beteiligten und ihre Effekte in klar definierten räumlichen, zeitlichen und logischen Zusammenhängen. Dadurch sind Status und Verhalten aller Beteiligten und aller Anwendungselemente zu jedem Zeitpunkt nachvollziehbar. Vollständige Konsistenz und Transparenz ist im Detail nicht immer realisierbar. Daher müssen Prioritäten auf Grundlage der gemeinsamen Aufgaben und Ziele definiert werden. Die direkte Beobachtbarkeit und Nachvollziehbarkeit der wesentlichen Zusammenhänge gemeinsamer Aktivitäten ist ein Grundbaustein kooperativer Zusammenarbeit.

Komplementäre Möglichkeiten: Ergänzende Funktionen und Fähigkeiten reduzieren das Konfliktpotential durch mehrere alternative Formen der Beteiligung und fördern gegenseitige Unterstützung in Form kombinierter und dadurch erweiterter Interaktionsmöglichkeiten.

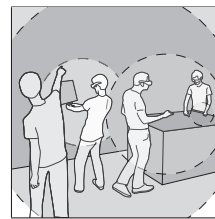
Unterstützung dynamischer Territorialität: Kooperationsprozesse variieren beständig zwischen Phasen enger und loser Kopplung. Wenn möglich, strukturieren Menschen ihre gemeinsamen Arbeitsräume entsprechend der jeweiligen Phasen. Benutzungsschnittstellen für Kooperation unterstützen daher die dynamische und nutzerspezifizierte Aufteilung des gemeinsamen Interaktionsraums in getrennte Bereiche für verschiedene Stufen des individuellen Rückzugs und des gegenseitigem Austauschs.



Kohärenz



Komplementarität



Territorialität

Abb. 1: Kernthemen der Gestaltung von Benutzungsschnittstellen für Kooperation

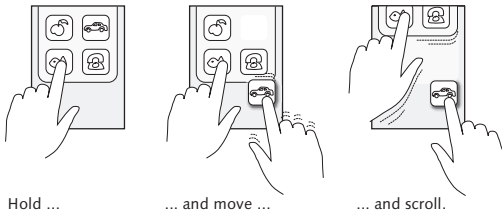
4 Experimente und elementare Technologien

Drei konkrete Schnittstellenentwicklungen und deren formale Evaluierung repräsentieren die Diversität möglicher Ansätze zur Erforschung und Gestaltung von Benutzungsschnittstellen für Kooperation. Das erste Beispiel ist der Vergleich drei verschiedener Kombinationen tischbasierter Eingabegeräte für zweihändige 3D Interaktion [Ku09]. In der Arbeit fokussiere ich stark auf die ökologische Validität der Evaluierung von Schnittstellenentwicklungen. Messbare Leistungsunterschiede mit verschiedenen Schnittstellen sind

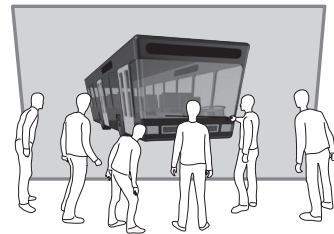
weniger ausgeprägt, wenn diese im Kontext eines vollständigen kooperativen Interaktionsprozesses untersucht werden. Trotzdem konnten kleine, aber signifikante Unterschiede nachgewiesen werden.

Das zweite Beispiel beschreibt die Entwicklung und Evaluierung einer neuen zweihändigen Interaktionstechnik zur Unterscheidung symmetrischer und asymmetrischer Eingaben auf Multitouch-Geräten [KDF12] (Abbildung 2(a)). Der Fokus dieser Arbeit liegt auf der Erfindung der patentierten Technik (EP2795451B1) und der empirischen Forschung im Entwicklungsprozess. Die Gestaltung der neuen Eingabegeste Hold and Move basiert auf Guiards Modell asymmetrischer zweihändiger Interaktion [Gu87]. Die genaue Spezifikation der Unterscheidungsparameter basiert auf einer detaillierten Analyse zweihändiger Eingabesequenzen mit unterschiedlichen Zielen. Im Vergleich zum Status quo wurden klare Vorteile deutlich, die sich durch Unterschiede in der kognitiven Verarbeitung beider Interaktionsmuster erklären lassen.

Das dritte Beispiel meiner Arbeit zu kooperativen Benutzungsschnittstellen ist das weltweit erste 3D Projektionssystem, das bis zu sechs Personen eine eigenständige stereoskopische Perspektive bietet [Ku11]. Im Gegensatz zur Nutzung von Head-Mounted Displays (HMDs) bleibt mit diesem System die Wahrnehmung anderer Personen, der physischen Umgebung und des eigenen Körpers erhalten. Man erlebt also eine gemeinsame virtuelle Realität in Relation zu realen Referenzen. Durch individuelle perspektivisch korrekte Darstellung für alle Beteiligten sind diese auch in der Lage sich mit Zeigegesten über Details der dargestellten 3D Modelle auszutauschen (Abbildung 2(b)).



(a) Hold and Move ermöglicht die Manipulation von Vordergrundobjekten während ein anderer Finger den Hintergrund hält oder gleichzeitig verschiebt. Die Zweifingergeste ist als asymmetrische Eingabe vom symmetrischen Pinch Zoom durch unterschiedliches zeitliches Verhalten unterscheidbar.



(b) Das neue Mehrbenutzer 3D Projektionssystem bietet bis zu sechs Personen eine individuelle 3D Perspektive auf gemeinsam erlebte virtuelle 3D Modelle.

5 Fallstudien

Der dritte Teil meiner Promotion illustriert die Relevanz und Anwendbarkeit der vorgeschlagenen Gestaltungsprinzipien mit Beispielen kooperativer Benutzungsschnittstellen in kollaborativer virtueller Realität. Alle vorgestellten Beispiele basieren auf der Mehrbenutzer-3D-Projektionstechnologie, die im Rahmen meiner Promotion entwickelt wurde [Ku11].

Das Prinzip eines kohärenten Interaktionsraumes wurde im Kontext eines Telepräsenzsystems untersucht [Be13]. Unsere Beobachtungen und formalen Studien mit dem weltweit ersten bidirektionalen 3D Telepräsenzsystem für Nutzergruppen unterstreichen den Stellenwert gegenseitiger Wahrnehmung in einem geometrisch konsistenten Raum. Die Ergebnisse belegen die unmittelbare Lesbarkeit von Körpersprache und Zeigegesten (Abbildung 2).



Abb. 2: Gruppen-Navigation in einer gemeinsamen virtuellen Umgebung mit Telepräsenz.

Zum Prinzip der Unterstützung dynamischer Territorialität wurden zwei Fallstudien durchgeführt. Eine widmete sich Konflikten zwischen sozialen Normen und gemeinsamen Zielen. In dichten räumlichen Strukturen wie dem Motorraum eines Fahrzeugs sind viele Details nur aus wenigen Perspektiven sichtbar. Es ist daher teilweise nötig „einander über die Schulter zu schauen“, um gezeigte Objekte zu erkennen. Die körperliche Nähe ist jedoch nicht immer akzeptabel (vgl. Proxemics [Ha66]). In virtueller Realität können gezeigte Objekte von jeder Perspektive aus sichtbar sein, indem sie durch verdeckende Geometrie hindurchscheinen (Abbildung 3(a)). Unsere Studien zeigten, dass dadurch präferierte Abstände eingehalten werden können, ohne dass die Informationsvermittlung leidet [Ar10].

Eine andere Serie von Experimenten widmete sich der Integration zusätzlicher 3D Sichtfenster im gemeinsamen Interaktionsraum [Ku14]. Diese können sowohl durch physische Bildschirme als auch durch virtuelle Fenster realisiert werden (Abbildung 3(b)). Die resultierenden Systeme unterstützten dynamische Territorialität im Sinne der spontanen Strukturierung und der kontinuierlichen Anpassung des Arbeitsraumes in dedizierte Räume für private Interaktion, zur Aufbewahrung digitaler Objekte und für den gemeinsamen Austausch (vgl. [Sc04]).



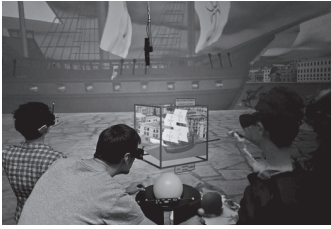
(a) Gezeigte Objekte werden durch das verdeckende Geometrien hindurch sichtbar.



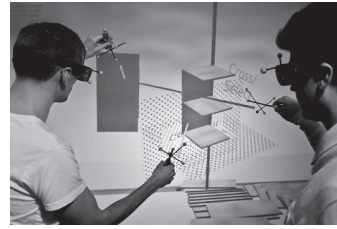
(b) Reale und Virtuelle 3D Sichtfenster als Interaktionsterritorien in Mehrbenutzeranwendungen.

Abb. 3: Proxemics und Territorialität in Sozialer Virtueller Realität

Das Prinzip komplementärer Möglichkeiten wurde auch in zwei Fallstudien erprobt. In einem der Experimente unterstützten sich Nutzerinnen durch gegenseitige Bereitstellung räumlicher Referenzen und Vergleichsperspektiven, als auch durch den Austausch virtueller Objekte und die abwechselnde Navigation der Gruppe durch den virtuellen Raum (Abbildung 4(a) [Ku14]). Die zweite Fallstudie zu diesem Thema untersuchte das Potential gemeinsamer 3D Objektplatzierung. Ein Set komplementärer Werkzeuge zur direkten 3D Manipulation und zur Definition geometrischer Bedingungen ermöglichte sehr schnelle virtuelle Montageprozesse durch effektive Zusammenarbeit (Abbildung 4(b)).



(a) Kombination eines stationären Navigationsgerätes mit 3D Portalen und einem 3D Zeigergerät zur effektiven Manipulation von Szeneninhalten.



(b) Zweihändige 3D Objektplatzierung und gleichzeitige Definition geometrischer Bedingungen.

Abb. 4: Komplementäre Werkzeugfunktionalitäten in kollaborativer virtueller Realität

6 Fazit und Ausblick

Ich schlage vor, bei der Gestaltung von Benutzungsschnittstellen und Interaktionstechniken stärker die Möglichkeiten von Synergien durch Kooperation zu berücksichtigen. Die zentrale Rolle dieses universellen Gestaltungsparadigmas ist auch in früheren Entwicklungen multimodaler, zweihändiger und kollaborativer Benutzungsschnittstellen erkennbar.

Verwandte Forschung in der Psychologie, den Arbeitswissenschaften und im Interaktionsdesign bietet einen Überblick über die Voraussetzungen und Potentiale von Benutzungsschnittstellen für Kooperation. Darüber hinaus präsentiere ich Kooperationsmuster mit weitreichender Anwendbarkeit und grundlegende Gestaltungsprinzipien.

Die Identifikation von *Kohärenz*, *Komplementarität* und *Territorialität* als entscheidende Faktoren kooperativer Benutzungsschnittstellen ist ein wesentlicher Beitrag meiner Arbeit. Eine Reihe von Experimenten und Fallstudien bestätigte die Relevanz und Anwendbarkeit der davon abgeleiteten Prinzipien im Kontext zweihändiger Interaktionssysteme und kollaborativer virtueller Realität.

Meine Vision ist ein Paradigmenwechsel von privaten Schnittstellen für asynchronen Austausch über soziale Netzwerke zu sozialen Benutzungsschnittstellen für die gleichzeitige gemeinsame Arbeit an komplexen Aufgaben. Die vorgestellten Systeme kollaborativer virtueller Realität stellen eine umfangreiche Realisierung solcher sozialer Benutzungsschnittstellen dar – insbesondere in Kombination mit Telepräsenztechnologien, wie in den Fallstudien dargestellt [Be13].

Literaturverzeichnis

- [Ar10] Argelaguet, F.; Kunert, A.; Kulik, A.; Froehlich, B.: Improving co-located collaboration with show-through techniques. In: 3D User Interfaces (3DUI), 2010 IEEE Symposium on. S. 55–62, march 2010.
- [Be67] Bernstein, N. A.: The Co-ordination and regulation of movements. Pergamon Press Ltd., first english edition. Auflage, 1967.
- [Be00] Benford, Steve; Bederson, Benjamin B.; Åkesson, Karl-Petter; Bayon, Victor; Druin, Allison; Hansson, Pär; Hourcade, Juan Pablo; Ingram, Rob; Neale, Helen; O'Malley, Claire; Simsarian, Kristian T.; Stanton, Danaë; Sundblad, Yngve; Taxén, Gustav: Designing storytelling technologies to encouraging collaboration between young children. In: Proc. of CHI 2000. ACM Press, S. 556–563, 2000.
- [Be13] Beck, Stephan; Kunert, Andre; Kulik, Alexander; Fröhlich, Bernd: Immersive group-to-group telepresence. Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on, 19(4):616–625, 2013.
- [BGG01] Baker, Kevin; Greenberg, Saul; Gutwin, Carl: Heuristic Evaluation of Groupware Based on the Mechanics of Collaboration. In: Proceedings of the 8th IFIP International Conference on Engineering for Human-Computer Interaction. EHCI '01, Springer-Verlag, London, UK, UK, S. 123–140, 2001.
- [Fi54] Fitts, PM.: The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. In: Journal of Experimental Psychology 47. S. 381–391, 1954.
- [Fr01] Franz, Elizabeth A; Zelaznik, Howard N; Swinnen, Stephan; Walter, Charles: Spatial conceptual influences on the coordination of bimanual actions: when a dual task becomes a single task. Journal of motor behavior, 33(1):103–112, 2001.
- [Ga74] Garner, Wendell R.: The processing of information and structure. Lawrence Erlbaum, Oxford, 1974.
- [GG02] Gutwin, Carl; Greenberg, Saul: A Descriptive Framework of Workspace Awareness for Real-Time Groupware. Comput. Supported Coop. Work, 11(3):411–446, November 2002.
- [Gu87] Guiard, Yves: Asymmetric Division of Labor in Human Skilled Bimanual Action: The Kinematic Chain as a Model. In: Journal of Motor Behavior. Jgg. 19, S. 486–517, 1987.
- [Gu88] Guiard, Yves: The kinematic chain as a model for human asymmetrical bimanual co-operation. Advances in Psychology, 55:205–228, 1988.
- [Ha66] Hall, Edward T.: The Hidden Dimension. Doubleday, 1966.
- [Hi97] Hinckley, Ken; Pausch, Randy; Proffitt, Dennis; Patten, James; Kassell, Neal: Cooperative Bimanual Action. In: Proceedings of the ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. CHI '97, ACM, New York, NY, USA, S. 27–34, 1997.
- [Hi98] Hinckley, Ken; Pausch, Randy; Proffitt, Dennis; Kassell, Neal F.: Two-handed Virtual Manipulation. ACM Trans. Comput.-Hum. Interact., 5(3):260–302, September 1998.
- [Hi10] Hinckley, Ken; Yatani, Koji; Pahud, Michel; Coddington, Nicole; Rodenhouse, Jenny; Wilson, Andy; Benko, Hrvoje; Buxton, Bill: Pen + Touch = New Tools. In: Proceedings of the 23Nd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology. UIST '10, ACM, New York, NY, USA, S. 27–36, 2010.

-
- [HRHM96] Hepp-Reymond, MC; Huesler, EJ; Maier, MA: Precision grip in humans: temporal and spatial synergies. *Hand and brain*, S. 33–68, 1996.
 - [Is12] Isenberg, P.; Fisher, D.; Paul, S. A.; Morris, M. R.; Inkpen, K.; Czerwinski, M.: Co-Located Collaborative Visual Analytics around a Tabletop Display. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 18(5):689–702, May 2012.
 - [Ja94] Jacob, R.; Silbert, R.; Preston, M.; FARLANE, D. MC: Integrality and Separability of Input Devices. In: *Proc. of CHI '94*. S. 3–26, 1994.
 - [KDF12] Kulik, Alexander; Dittrich, Jan; Froehlich, Bernd: The Hold-and-move Gesture for Multi-touch Interfaces. In: *Proceedings of the 14th International Conference on Human-computer Interaction with Mobile Devices and Services. MobileHCI '12*, ACM, New York, NY, USA, S. 49–58, 2012.
 - [Ku09] Kulik, Alexander; Hochstrate, Jan; Kunert, André; Fröhlich, Bernd: The influence of input device characteristics on spatial perception in desktop-based 3D applications. In: *3D User Interfaces, 2009. 3DUI 2009. IEEE Symposium on*. S. 59–66, March 2009.
 - [Ku11] Kulik, Alexander; Kunert, André; Beck, Stephan; Reichel, Roman; Blach, Roland; Zink, Armin; Fröhlich, Bernd: C1x6: a stereoscopic six-user display for co-located collaboration in shared virtual environments. *ACM Trans. Graph.*, 30(6):188:1–188:12, Dezember 2011.
 - [Ku14] Kunert, André; Kulik, Alexander; Beck, Stephan; Fröhlich, Bernd: Photoportals: Shared References in Space and Time. In: *Proceedings of the 17th ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work & Social Computing. CSCW '14*, ACM, New York, NY, USA, S. 1388–1399, 2014.
 - [La12] Latash, Mark L.: 9 - Coordination. In (Latash, Mark L., Hrsg.): *Fundamentals of Motor Control*, S. 149 – 170. Academic Press, San Diego, 2012.
 - [LC11] Logan, Gordon D; Crump, Matthew JC: Hierarchical Control of Cognitive Processes: The Case for Skilled Typewriting. *Psychology of Learning and Motivation-Advances in Research and Theory*, 54:1, 2011.
 - [Ma98] Martin, Jean-Claude: TYCOON: Theoretical framework and software tools for multi-modal interfaces. In: John Lee (Ed.), *Intelligence and Multimodality in Multimedia Interfaces*. AAAI Press, 1998.
 - [Me01] Mechsner, Franz; Kerzel, Dirk; Knoblich, Guënter; Prinz, Wolfgang: Perceptual basis of bimanual coordination. *Nature*, 414(6859):69–73, 2001.
 - [Mo01] Mottet, Denis; Guiard, Yves; Ferrand, Thierry; Bootsma, Reinoud J: Two-handed performance of a rhythmical fitts task by individuals and dyads. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27(6):1275, 2001.
 - [Mo04] Morris, Meredith Ringel; Ryall, Kathy; Shen, Chia; Forlines, Clifton; Vernier, Frederic: Beyond Social protocols": multi-user coordination policies for co-located groupware. In: *Proceedings of the 2004 ACM conference on Computer supported cooperative work. CSCW '04*, ACM, New York, NY, USA, S. 262–265, 2004.
 - [Ov00] Oviatt, Sharon; Cohen, Phil; Wu, Lizhong; Vergo, John; Duncan, Lisbeth; Suhm, Bernhard; Bers, Josh; Holzman, Thomas; Winograd, Terry; Landay, James; Larson, Jim; Ferro, David: Designing the User Interface for Multimodal Speech and Pen-based Gesture Applications: State-of-the-art Systems and Future Research Directions. *Hum.-Comput. Interact.*, 15(4):263–322, Dezember 2000.

- [PBF02] Pinho, Márcio S.; Bowman, Doug A.; Freitas, Carla M.D.S.: Cooperative object manipulation in immersive virtual environments: framework and techniques. In: Proc. of VRST 2002. VRST '02. ACM Press, S. 171–178, 2002.
- [Ri11] Riley, Michael A; Richardson, Michael J; Shockley, Kevin; Ramenzoni, Verónica C: Interpersonal synergies. *Frontiers in psychology*, 2, 2011.
- [Ro10] Rosenbaum, David A.: Chapter 9 - Keyboarding. In (Rosenbaum, David A., Hrsg.): *Human Motor Control* (Second Edition), S. 277 – 321. Academic Press, San Diego, second edition. Auflage, 2010.
- [RSJ02] Ruddle, Roy A.; Savage, Justin C. D.; Jones, Dylan M.: Symmetric and asymmetric action integration during cooperative object manipulation in virtual environments. *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.*, 9(4):285–308, Dezember 2002.
- [Sc98] Schmidt, RC; Bienvenu, Michelle; Fitzpatrick, PA; Amazeen, PG: A comparison of intra-and interpersonal interlimb coordination: coordination breakdowns and coupling strength. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24(3):884, 1998.
- [Sc04] Scott, Stacey D.; Sheelagh, M.; Carpendale, T.; Inkpen, Kori M.: Territoriality in collaborative tabletop workspaces. In: Proc. of CSCW 2004. CSCW '04. ACM Press, S. 294–303, 2004.
- [Wi96] Wiesendanger, Mario; Kazennikov, Oleg; Perrig, Stephen; Kaluzny, Pawel: Two hands – one action: The problem of bimanual coordination. Academic Press, San Diego, CA, US, S. 283–300, 1996.
- [ZMI99] Zhai, Shumin; Morimoto, Carlos; Ihde, Steven: Manual and Gaze Input Cascaded (MAGIC) Pointing. In: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. CHI '99, ACM, New York, NY, USA, S. 246–253, 1999.



Alexander Kulik wurde 1979 in Dresden geboren. Sein akademischer Werdegang zeigt die Interdisziplinarität der Forschung zu Mensch-Maschine Schnittstellen. Während seines Designstudiums widmete er sich bereits der Gestaltung und Entwicklung interaktiver Systeme. Im Rahmen seiner Diplomarbeit im Jahr 2005 entwickelte er am Fraunhofer Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation in Stuttgart 3D Eingabegeräte für Virtuelle

Realität. Seit 2006 arbeitet Alexander Kulik als wissenschaftlicher Mitarbeiter der Forschungsgruppe *Virtual Reality and Visualization Research* unter Prof. Fröhlich im Bereich Medieninformatik der Bauhaus-Universität Weimar. Seine Forschung und Lehre in Weimar waren unterbrochen von Auslandsaufenthalten am Laboratoire Bordelais de Recherche en Informatique (LaBRI) in Bordeaux, Frankreich sowie am Information Science Department der Cornell Universität in Ithaca, USA.