

Tobias Schwarz, Jens Müller, Simon Butscher, Harald Reiterer

# Die Wiederentdeckung analoger Interaktionsqualitäten in der digitalen Leitwarte

## The return of physical interaction in future control rooms

Leitwarte\_Prozessvariablen\_Reality-based Interaction\_Blended Interaction

**Zusammenfassung.** In diesem Beitrag wird das Blended Interaction Designframework als neuartiger Ansatz zur Vermischung realer und digitaler Interaktionskonzepte für Leitwarten vorgestellt. Hintergrund ist die Herausforderung einer stetig ansteigenden Komplexität der Mensch-Maschine-Schnittstelle. Leitbild bei der Konzeptentwicklung sind die Prinzipien der realitätsbasierten Interaktion und des Conceptual Blendings, die sowohl den Operateur mit seinen inhärenten Fähigkeiten, als auch den situativen Kontext der Arbeitsumgebung hervorheben. Die Anwendungsmöglichkeiten des Frameworks werden anhand eines Fallbeispiels aus dem Kraftwerkskontext erläutert. Hierzu werden Visualisierungs- und Interaktionskonzepte für die Manipulation von Prozessvariablen beschrieben. Des Weiteren werden Ergebnisse einer experimentellen Benutzerstudie vorgestellt, in welcher ein möglicher Paradigmenwechsel hin zu neuen Interaktionsformen untersucht und diskutiert wird.

**Summary.** Blended Interaction is introduced as a novel approach to a holistic design of the work environment of control room operators. The Framework addresses the continuously growing complexity of human-machine-interfaces in control rooms. The approach refers to the principles of the Reality-based Interaction framework and the Conceptual Blending theory, which both stress the operator's inherent abilities and their working context. The applicability of Blended Interaction is illustrated by means of a case study which is situated within the context of power plants. In this respect, visualization- and interaction concepts for the manipulation of process variables are presented. Furthermore, the results of a user study and a possible paradigm shift in control room interaction design are discussed.

## 1. Einführung und Motivation

Innerhalb der letzten Jahrzehnte hat sich die Arbeit von Operateuren mit der voranschreitenden Digitalisierung in Leitwarten stark verändert. In diesem Zusammenhang gehen für die Prozessführung zwei prägende Begleiterscheinungen einher: die Erhöhung des Automatisierungsgrades sowie der Anstieg der Virtualisierung. So laufen teilweise ganze Prozesse vollautomatisiert ab und werden nicht mehr direkt vor Ort, sondern fernab des Geschehens zentral auf einer Vielzahl von Bildschirmen in virtualisierter Form überwacht. Während die Arbeitsumgebung des Operateurs stets komplexer geworden ist, sind die Benutzungsschnittstellen noch immer in der Tradition des Desktop-Computers und

den damit verbundenen Ein- und Ausgabegeräten verhaftet. Auf Basis von Maus, Tastatur und Bildschirmen muss sich der Operateur ein Bild vom Zustand des Gesamtprozesses bilden, um im Falle eines manuellen Eingriffs die richtigen Entscheidungen treffen und entsprechende Bedienhandlungen einleiten zu können. Der Zustand eines technischen Prozesses ist durch die physikalischen Kenngrößen der ihm zugrunde liegenden Prozesselemente definiert. Für die physikalische Größe (z. B. Druck) eines Prozesselements (z. B. Kessel) wird im Folgenden der Begriff Prozessvariable verwendet. Die Manipulation von Prozessvariablen erfolgt dabei entweder durch die Manipulation einer metaphorischen Visualisierung der Variable (z. B. eines Ventils) oder sie wird textuell in ein dazugehöriges Textfeld eingegeben.

Während im Zuge der Digitalisierung die Möglichkeiten der Datenver-

arbeitung und damit auch die Größe und Komplexität der zu überwachten Prozesse drastisch steigen, führt die Interaktion über die vorherrschende digitale Benutzungsschnittstelle – das Desktop-System – zu einer ebenso drastischen Reduktion der physischen Qualitäten. Hierdurch werden die für einen engen Prozessbezug erforderlichen sensorischen Erfahrungen gänzlich ausgeblendet. Von der Bedeutung des Prozessbezugs wird unter anderem in einer Beobachtung von Salo und Savioja [1] berichtet, wonach sich die Operatoren der untersuchten Leitwarten regelmäßig in die Anlagen des realen Prozesses begaben, um ihr Prozesswissen und Empfinden aufrecht zu erhalten. Sensorische Erfahrungen, wie das Tasten oder Fühlen, aus welchen der einstmalige Operateur Rückschlüsse auf den Zustand und die Dynamik des realen Prozesses gewinnen konnte, bleiben dem heuti-

gen Operateur verwehrt. Wickens et al. [2] sprechen in diesem Zusammenhang von der Bedeutung der Erinnerbarkeit eines Stellvorgangs, d. h. die Stellgröße vor der Änderung, die Differenz, bzw. die durch die Interaktion hervorgerufene Änderung und den letztlich eingestellten Wert. Dies ist vor allem deshalb von großer Bedeutung, da eine in Leitwarten getroffene Fehlentscheidung fatale Konsequenzen haben kann [3]. Vor dem Hintergrund der physischen Abwesenheit des Prozesses stellt die angemessene Gestaltung von Benutzungsschnittstellen in der heutigen Leitwarte daher eine essenzielle Herausforderung dar.

Rasmussen et al. [4] weisen darauf hin, dass Prozessvisualisierungen und Interaktionskonzepte so gestaltet sein müssen, damit diese der Natur der menschlichen Wahrnehmung und Informationsaufnahme, der mentalen Modelle der Operateure als auch der menschlichen Problemlöse- und Planungsvorgänge angepasst sind. In Anbetracht der geschilderten Umstände erfordern neue Interaktionskonzepte für Leitwarten eine wohlbedachte Kombination aus den physischen Qualitäten der früheren Arbeitsumgebung und den Potentialen der digitalen Welt. Ein möglicher Paradigmenwechsel, welcher sich von der Entwicklung rein virtueller Welten entfernt, wird im Folgenden vorgestellt.

## 2. Reale und digitale Interaktionskonzepte für die Leitwarte

Die Gestaltung neuartiger Formen der Interaktion erfordert im Kontext von Leitwarten eine besonders systematische und sorgfältige Vorgehensweise, da sie den sicherheitskritischen Anforderungen der Domäne gerecht werden muss. Zunächst werden die verschiedenen Interaktionsformen zwischen Mensch und Maschine beschrieben, welche sich im Laufe der Jahrzehnte entwickelt haben. Dabei werden die durch die voranschreitende Digitalisierung gewonnenen – aber auch verlorenen – Qualitäten anhand der Dimensionen *technische Verarbeitungskapazität* und *physisch-prozessbezogene Qualitäten* auf Basis der *Power vs. Reality*

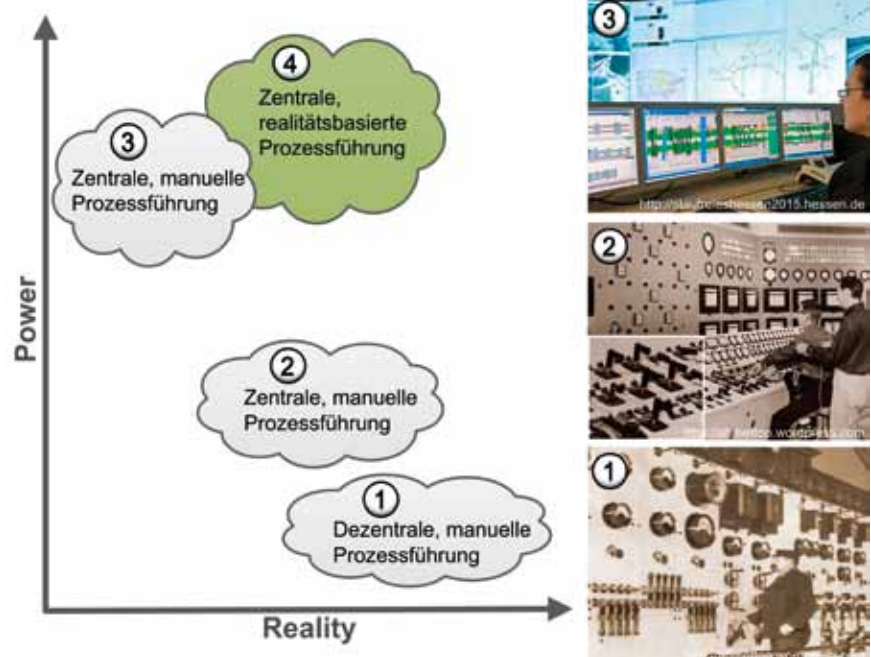
Erwägung nach Jacob et al. [5] erläutert. Anhand dieser Erkenntnisse und unter Zuhilfenahme der *Blended Interaction* werden die Möglichkeiten zum Entwurf neuer Interaktionsformen im Kontext der Leitwarte aufgezeigt.

### 2.1 Evolution der Interaktionsformen

In der Evolution der Leitwarten lassen sich unterschiedliche Paradigmen identifizieren, welche sich anhand der zwei hervorstechenden Merkmale *technische Verarbeitungskapazität* und *physische Interaktionsqualität* charakterisieren lassen. Beide Merkmale lassen sich in den von Jacob et al. [5] beschriebenen gegensätzlichen Dimensionen *Power vs. Reality* zuordnen. Historisch gesehen können die in der Prozessführung verwendeten Interaktionstechnologien in drei Paradigmen [6] eingeordnet werden (siehe Bild 1): (1) dezentrale manuelle Prozessführung, (2) zentrale, manuelle Prozessführung, (3) zentrale, digitale Prozessführung. Die Zuordnung der Interaktionsparadigmen wurde durch zehn Usability-Experten aus dem Leitwartenkontext bestätigt. Bei den Befragten handelt es sich um Experten aus unter-

schiedlichen Domänen wie beispielsweise der Energieverteilung und der Verkehrsüberwachung.

Die Prozessführung ist zuerst durch die Zentralisierung, später durch die Digitalisierung effektiver geworden (Aufwärtstrend der *Power*-Dimension, siehe y-Achse in Bild 1). Im Zuge dessen hat die Prozessführung jedoch stetig an wahrnehmbarem Prozessbezug verloren (rückläufiger Realitätsbezug, siehe x-Achse in Bild 1). So zeichnen sich früher vorherrschende Paradigmen durch physische Artefakte wie Drehregler, Schalter oder Knöpfe aus, da diese ein direktes Fühlen des Prozesses ermöglichten. Mittlerweile erfolgt die Herstellung eines Bezugs zum überwachten Prozess lediglich auf visueller Ebene und zwar in Form virtueller Kontrollelemente. Diese vermögen jedoch nur durch ihre visuelle, d. h. metaphorische Repräsentation an die Vorerfahrungen und das Prozesswissen der Operateure anzuknüpfen. Durch die Bedienung per Maus werden die mit den Prozessgrößen assoziierten motorischen und sensorischen (Prozess-) Fähigkeiten des Operateurs fast gänzlich ausgeblendet. Ebenso sind sensorische Rückschlüsse auf das aktuelle Prozessgeschehen ausschließlich auf die visuelle Ebene beschränkt.



**Bild 1:** Die Dimensionen *Power vs. Reality* nach Jacob et al. [5], erweitert um die Zuordnung der Zeitalter der Prozessführung [6].

Eine weitere verlorengegangene Stärke früherer Leitwarten besteht in einer gleichberechtigteren (demokratisierten) Form der sozialen Interaktion: früher konnten mehrere Operateure – beispielsweise bei anormalen Betriebszuständen – gleichzeitig mit verschiedenen Bedienelementen direkt interagieren, wodurch soziale Konventionen, wie das Besprechen von Abläufen, unmittelbar Berücksichtigung fanden. Des Weiteren wurde durch die statische Position der Bedienelemente im Raum die nonverbale Koordination gefördert. Durch die Position eines Operateurs im Raum war es ersichtlich, an welcher Stelle im Prozess dieser aktuell eingreift. Diese impliziten Formen der Interaktion und Kommunikation sind in der heutigen Leitwarte nicht mehr gegeben. Realitätsbasierte Konzepte vereinen die Vorteile der beiden Dimensionen *Power* und *Reality* und schaffen ein neues, viertes Paradigma: Die zentrale, realitätsbasierte Prozessführung (siehe Bild 1 (4)).

Das im Folgenden vorgestellte Framework erhebt die Forderung, natürliche Interaktionsformen ganzheitlich zu betrachten. Somit bildet es den Rahmen, die genannten Stärken gleichermaßen zu beachten und soll daher die Grundlage für zukunftsweisende Formen der Prozessführung bilden.

## 2.2 Blended Interaction als Designframework

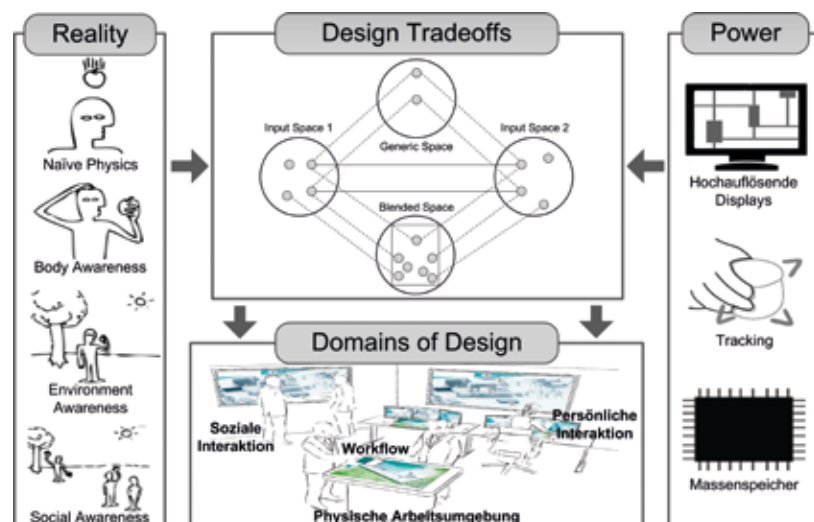
Ziel des ganzheitlichen Designframeworks *Blended Interaction* ist die Förderung einer nutzerzentrierten Gestaltung realitätsbasierter Benutzungsschnittstellen. Diese neue Stufe in der Evolution der Mensch-Computer-Interaktion ist vom Ziel geprägt, die Interaktion an den Prinzipien der *Reality-based Interaction* auszurichten [7]. Als konzeptionelles Designwerkzeug zur Umsetzung realitätsbasierter Konzepte verweist das Framework auf den *Conceptual Blending* Ansatz.

Erkenntnisse aus der Kognitionswissenschaft bestätigen, dass eine enge Verbindung zwischen Denkprozessen, der Wahrnehmung und körperlichen sowie sozialen Handlungen besteht [8]. Somit muss der Operateur ganzheitlich, d. h. mit seinen physischen und kogniti-

ven Fähigkeiten sowie seinem sozialen Kontext, betrachtet werden. Ziel der *Reality-based Interaction* von Jacob et al. [9] ist es, die Interaktion zwischen Mensch und Maschine an der realen Welt auszurichten. Dadurch können gelernte und evolutionsbedingte Eigenschaften und Fähigkeiten des Menschen genutzt werden, um Interaktion nachvollziehbar zu gestalten. In diesem Zusammenhang definieren Jacob et al. [9] vier *Themes of Reality*, welche diese Fähigkeiten adressieren (siehe Bild 2 (1), links *Reality*). (1) *Naïve Physics* – Beachte das Alltagsverständnis der Menschen über physikalische Gegebenheiten. (2) *Body Awareness & Skills* – Berücksichtige das Körperbewusstsein und die körperlichen Fähigkeiten der Menschen. (3) *Environment Awareness & Skills* – Beachte das räumliche Bewusstsein und die räumlichen Fähigkeiten der Menschen. (4) *Social Awareness & Skills* – Berücksichtige das soziale Verhalten und die sozialen Fähigkeiten der Menschen bei der Interaktion. Innerhalb der *Reality-based Interaction* wird zwischen zwei grundsätzlichen Interaktionsformen unterschieden: Die Interaktion, welche die reale Welt nachahmt (*like the real world*) und die Interaktion in der realen Welt (*in the real world*). Die erste Interaktionsform basiert auf dem Transfer von Wissen aus der realen Welt in die virtuelle Welt, d. h. die reale Welt wird in digitaler Form nachgeahmt. Die zweite Interakti-

onsform konzentriert sich auf computer-gestützte physische Artefakte, wie beispielsweise *Tangible User Interfaces (TUIs)* [10], welche eine physische Schnittstelle zu digitalen Funktionalitäten leisten. In der realen und der digitalen Welt sehen Jacob et al. [5] zwei Dimensionen mit jeweils eigenen Vorzügen. Während die reale Welt durch natürliche Formen der Interaktion geprägt ist, ermöglicht die digitale Welt eine hohe Verarbeitungskapazität von Informationen. Ähnlich wie bei der *Reality-based Interaction* spielen wohlbedachte *Design Tradeoffs* zwischen den Dimensionen der vertrauten *realen Welt* (siehe Bild 2, links *Reality*) und der *digitalen Informationsverarbeitung* (siehe Bild 2, rechts *Power*) auch in der *Blended Interaction* eine entscheidende Rolle.

Die *Power* der *digitalen Informationsverarbeitung* basiert beispielsweise auf hochauflösenden Displays, Sensoren oder Massenspeichern. Im Gegensatz zur *Reality-based Interaction* wird innerhalb der *Blended Interaction* die Realität als dynamisch angesehen: Menschen wenden demnach nicht nur gelernte Konzepte aus der realen, nicht-digitalen Welt an, sondern auch Konzepte, welche sie bei der Nutzung vertrauter digitaler Technologien erlernt haben (z. B. dass eine Pinching Geste zum Zoomen genutzt werden kann). Als konzeptionelles Werkzeug für die nutzerzentrierte Gestaltung von *Design Tradeoffs* wird



**Bild 2:** Das *Blended Interaction* Designframework mit den konzeptionellen Werkzeugen der *Reality-based Interaction* und dem *Conceptual Blending* sowie die *Domains of Designs* des Frameworks zur holistischen Gestaltung natürlicher Formen der Interaktion.

das *Conceptual Blending* [11] genutzt (siehe Bild 2, Mitte *Design Tradeoffs*). Es hilft dabei, das Vorwissen und die natürlichen Fähigkeiten des Menschen zu berücksichtigen. *Conceptual Blending* beschreibt einen unbewussten, jedoch allgegenwärtigen Prozess, welcher sich Metaphern bedient und tief in unserem alltäglichen Denken verankert ist. Das menschliche Denken basiert auf Projektionen zwischen *Input Spaces*, einem *Generic Space* und einem *Blended Space* (siehe Bild 2, Mitte *Design Tradeoffs*). Der generische Bereich (*Generic Space*) dient als Basis für die Projektionen. Der Bereich besteht aus grundlegenden, abstrakten Strukturen, welche Menschen im Laufe ihres Lebens erlernt haben. Der *Generic Space* stellt somit gewissermaßen das Alltagsverständnis des Menschen dar, wie beispielsweise, dass Dinge zueinander in Beziehung stehen können. Nur wenn beide *Input Spaces* eine ausreichende Überschneidung hinsichtlich der grundlegenden Eigenschaften, d. h. des *Generic Space* aufweisen, kann durch die Projektion der einzelnen Strukturen und Eigenschaften der beiden *Input Spaces* ein neuer hypothetischer Bereich, der sog. *Blended Space*, entstehen. Dabei können sich neue Konzepte mit emergenten Eigenschaften innerhalb des *Blended Spaces* entwickeln, welche auf diese Art und Weise nicht in den Ursprungsdomänen zu finden sind. Für uns Menschen erscheint der *Blended Space* als eine neue künstlich geschaffene Welt. Hierbei können Menschen auf Erfahrungen und Fähigkeiten zurückgreifen sowie neue Strukturen und Funktionalitäten anwenden.

Im Hinblick auf die Ganzheitlichkeit werden die Interaktionsformen aus unterschiedlichen Perspektiven betrachtet und in vier sog. *Domains of Design* (Gestaltungsebenen) gegliedert (siehe Bild 2). Im Sinne einer angemessenen Gestaltung der Arbeitsumgebung sind diese *Domains* gleichermaßen bedeutsam und werden im Folgenden beschrieben.

**Persönliche Interaktion.** Im Bereich der *persönlichen Interaktion* soll eine möglichst intuitive Bedienung dadurch erreicht werden, dass den Menschen erlaubt wird, an ihre Alltagserfahrungen bezüglich der Interaktion mit realen

Objekten anknüpfen zu können. Dies impliziert, dass Benutzungsschnittstellen in Leitwarten sowohl die körperliche als auch sinnliche Wahrnehmbarkeit durch eine kohärente multimodale Interaktion fördern müssen, wie es in früheren analogen Leitwarten mit ihren manuellen Stellteilen der Fall war. Früher konnte der Operateur beispielsweise über die wahrgenommene Form- und Bedieneigenschaft eines Kontrollelements auf das dazugehörige Prozesselement schließen.

**Soziale Interaktion.** Die Gestaltung der Benutzungsschnittstelle sollte sich nicht nur auf das persönliche Erleben des Menschen mit dem interaktiven System beschränken, sondern auch *soziale Interaktionen* zwischen den am System beteiligten Akteuren fördern. Die Interaktionsformen im Zuge der manuellen Prozessführung boten neben den Vorteilen einer expliziten Bedienhandlung über spürbare Widerstände, die Möglichkeit einer impliziten, nonverbalen Kommunikation zwischen den Operateuren. Zwar hat die Anzahl der für die Führung eines Prozesses notwendigen Operateure aufgrund des zunehmenden Automatisierungs- und Virtualisierungsgrades abgenommen, dafür ist das Arbeitsumfeld komplexer geworden. Vor allem hinsichtlich von impliziten und expliziten Absprachen ist die Beachtung der *sozialen Interaktion* essenziell, da sie die selbstgesteuerte Koordination der Arbeitsteilung ermöglicht.

**Reale und computergestützte Abläufe (Workflow).** Dieser Forderung folgend werden organisatorischen Abläufe in die Infrastruktur der Informationstechnologie eingebettet und von ihr unterstützt. Die Arbeitsstrukturen in der Leitwarte sind davon gekennzeichnet, dass unterschiedliche Arbeitsprozesse nahtlos aneinander anknüpfen. Dabei findet die Interaktion meist nicht isoliert von anderen Aufgaben statt, sondern im Zuge angegliederter Arbeitsschritte. Dementsprechend fordert die Betrachtung von *Workflows* die konzeptionelle Integration der Handlungsschritte im Leitwartenkontext.

**Physische Arbeitsumgebung.** Die Gestaltung der *physischen Umgebung* um-

fasst die Anpassung der Architektur an die aufgabenbezogenen Anforderungen. Diese Gestaltungsebene spielt vor allem in Bezug auf die historische Entwicklung der Prozessführung eine bedeutende Rolle. So war die Erfüllung der Primäraufgaben eine ortsgebundene Handlung und dadurch fest in der physischen Umgebung des Operateurs verankert. Folglich waren die Kontrollmöglichkeiten der manuellen Prozessführung an einen physischen Ort gebunden, während sie heute den dynamischen und daher auch komplexen Strukturen der virtuellen Welt unterliegen.

### 3. Manipulation von Prozessvariablen im Kraftwerkskontext

Im Folgenden werden neuartige Konzepte aus dem Bereich der Touch- und Tangible-Interaktion zur Manipulation von Prozessvariablen anhand eines Szenarios aus dem Kraftwerkskontext vorgestellt. Diese Formen der Interaktion zielen darauf ab, den Verlust von prozessrelevanten Informationen bei der Manipulation von Prozessvariablen zu verringern. Die Konzepte sind elementar durch das Designframework *Blended Interaction* motiviert und ihre Wirkungsweise wurden im Rahmen einer Benutzerstudie untersucht. Neben den realitätsbasierten Konzepten, welche auf einem Interaktive Tabletop basieren, wurden auch die vorherrschenden Eingabeformen mit Maus und Tastatur implementiert. Dies ermöglichte einerseits den Vergleich der realitätsbasierten Eingabeformen untereinander sowie den Vergleich zum vorherrschenden Eingabeparadigma.

#### 3.1 Anforderungen des Kraftwerkskontextes

Eingriffe in den technischen Prozess erfordern die Manipulation von realen, physikalischen Größen wie Druck und Durchfluss. Sie bilden daher einen elementaren Teil der Prozessführung. Im Zuge der Digitalisierung fand ein grundlegender Wandel im Ablauf dieser Primäraufgabe statt: Manuelle und

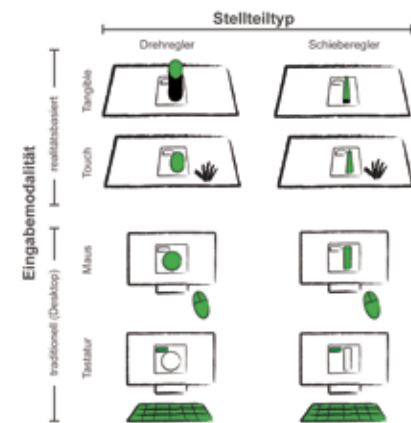
haptisch erfahrbare Stellteile wie Dreh- und Schieberegler wichen den heutigen virtuellen Kontrollelementen, welche durch Maus und Tastatur am Desktop-Computer bedient werden. Während die digitale Prozessführung die Überwachung von großen und komplexen Prozessen ermöglicht, lässt sie jedoch keine sinnlich-körperliche Wahrnehmung [12] der Prozessdynamik zu. Diese ist jedoch von großer Bedeutung, da sie den Operateur dabei unterstützt, sich ein umfassendes Bild vom Prozess abzuleiten. Ein besonderes Gewicht wird in diesem Zusammenhang dem Tastsinn zugeschrieben [13]. Für die Wiederherstellung der begreifbaren Manipulation von Prozessvariablen erweisen sich Tangibles als auch Interactive Tabletops als besonders geeignet, da hierdurch Änderungen am Prozess sowohl motorisch (Aufdrehen durch Drehbewegung) als auch haptisch (Manipulation über ein greifbares Stellteil) nachvollzogen werden können. Diese Art von Benutzungsschnittstellen leistet damit einen entscheidenden Beitrag zu den Forderungen der *persönlichen Interaktion*, indem sie den Operateur darin unterstützen, sich ein Bild vom aktuellen Prozesszustand zu generieren. Im Paradigma der dezentralen manuellen Prozessführung (siehe Bild 1 (1)) waren die Kontrollmöglichkeiten in Bezug auf die *physische Arbeitsumgebung* an einen Ort gebunden, während sie heute den dynamischen und daher auch komplexen Strukturen der virtuellen Welt unterliegen. Für die Manipulation von Prozessvariablen erscheint daher die Bedienung auf einer Tischform als geeignet, da Tische als Teil der strukturellen Arbeitsumgebung sowohl ein bekanntes als auch ein statisches Element darstellen. Darüber hinaus lässt sich durch die Kombination mit einem großen Wanddisplay der zu überwachende Prozess bzw. Informationsraum in einen ausschnittshaften Manipulationsteil (horizontales Display; Manipulationsebene siehe Bild 4 (1)) und in eine globale Übersichtsansicht (vertikales Wanddisplay; Überwachungs- und Diagnoseebene) aufteilen. Entsprechend der *sozialen Interaktion* erfordert die Gestaltung interaktiver Räume die Beachtung von Interaktionen zwischen den am technischen System beteiligten Akteuren. Durch die zunehmende Automati-

sierung ist die notwendige Anzahl der in einer Leitwarte arbeitenden Operateure stark gesunken. Eine effiziente Koordination erscheint daher unter den verbliebenen Operateuren umso wichtiger. Vor allem im Hinblick auf die implizite Verständigung in Krisensituationen ist die Förderung dieser zwischenmenschlichen Komponente von großer Bedeutung, da sie einen entscheidenden Beitrag zur reibungslosen Arbeitsteilung leisten kann. Die Verwendung eines horizontalen Displays für Eingriffe bietet hierbei zwei Vorteile: Einerseits unterstützt der gewohnte Formfaktor des Tisches kollaboratives Arbeiten auf natürliche Weise, andererseits lässt sich die individuelle Arbeit am Tisch auch von jenen Operateuren nachvollziehen, welche sich nicht in unmittelbarer Nähe des Tisches befinden, sondern diesen (und ihren Kollegen) aus der Ferne betrachten. Zuletzt begünstigt die Arbeit am horizontalen Display auch *reale und computergestützte Abläufe*, da sich anknüpfende Arbeitsschritte – wie beispielsweise Schichtbucheinträge mithilfe der Digital Pen&Paper Technologie – nahtlos in das Tisch-Setting integrieren lassen [6].

### 3.2 Gestaltung von realitätsbasierten Kontrollelementen

Im Fokus der Konzepte zur nachvollziehbaren Manipulation von Prozessvariablen steht die Beachtung der *persönlichen Interaktion*. Diese zielt bei Prozesseingriffen darauf ab, die Nachvollziehbarkeit und Geschwindigkeit der Interaktion, d. h. deren Auswirkungen auf den Prozess, zu maximieren. Grundsätzlich kommt hier die von Jacob et al. [5] beschriebene *Power vs. Reality* Abwägung zur Geltung: Benutzungsschnittstellen, welche sich ausschließlich an der Realität orientieren und zusätzliche digitale Funktionalität gänzlich, ausblenden begünstigen zwar eine nachvollziehbare Interaktion, schmälern dabei jedoch auch die Möglichkeiten einer effizienten Bedienweise. Unter dieser Annahme wurden Konzepte, welche auf den zwei klassischen Stellteiltypen *Drehregler* und *Schieberegler* basieren, entwickelt. Je Stellteiltyp wurden jeweils vier

Konzeptausprägung erstellt, welche sich im Grad des Realitätsbezugs, d. h. der Beachtung physischer Qualitäten wie Motorik und Sensorik und dem Grad an digitaler Funktionalität unterscheiden (siehe Bild 3).



**Bild 3:** Für die zwei Stellteiltypen Drehregler und Schieberegler wurden je zwei realitätsbasierte Konzepte (Werteingabe per Tangible und per Touch an einem Interaktiven Tabletop). Für einen späteren Vergleich der realitätsbasierten Konzepte wurden außerdem zwei traditionelle Eingabekonzepte (per Maus oder durch direkte Zahleneingabe mit der Tastatur) entwickelt.

Hierbei ist der Gestaltungsprozess der realitätsbasierten Stellteiltypen wesentlich durch die Implikationen des *Conceptual Blending* motiviert. Beispielhaft und bezugnehmend auf diesen Gestaltungsansatz werden im Folgenden die zwei realitätsbasierten Konzepte des Stellteiltyps *Drehregler* erläutert. Aufgrund der starken Assoziation der Stellteiltypen zu entsprechenden Prozessvariablen – im Falle des *Drehreglers* zu Durchlassgrößen wie Speisewasser und Kühlwasser – sind die Konzepte in den Kontext der Energiegewinnung eingebettet. Die Anforderungen für die vorgestellten Konzepte leiten sich aus den Ergebnissen einer Fokusgruppe, bestehend aus Usability Experten eines führenden Unternehmens in der Gestaltung von Leitwarten im Energiegewinnungssektor, ab [14]. In Anlehnung an Bützler et al. [15] wurde das interaktive Display des Tabletops zugunsten einer ergonomischeren Bedienung um 16° geneigt.

Der *Drehregler* gehört nach DIN EN 894-3 zur Familie der rotatorischen Stellteile mit kontinuierlicher Stellbewegung. In der dort beschriebenen Form erlaubt

das Element zwar eine Blindbedienung, eine Sichtkontrolle ist hingegen insofern nicht möglich, da die Stellung des Drehgriffes keine Rückschlüsse auf die aktuelle Einstellung zulässt. Ein vollständiges Auf- bzw. Zudrehen ist mit einem spürbaren Bedienwiderstand verbunden und wird daher haptisch nachvollzogen. Für das Kontrollelement wurden eine haptische Variante und eine virtuelle, berührempfindliche Variante realisiert.

**Haptisches Kontrollelement.** Das haptische Kontrollelement, (siehe Bild 4 (2)), ist durch die Bedienmerkmale und Qualitäten des in der DIN Norm beschriebenen Stellteils charakterisiert und zeichnet sich aufgrund seiner physischen Beschaffenheit durch eine hohe sinnliche Wahrnehmbarkeit aus.

Der Umstand der bedingten Sichtkontrolle wurde durch eine digitale Kreisvisualisierung erweitert (siehe Bild 4 (2)). Die Visualisierung besteht aus ei-

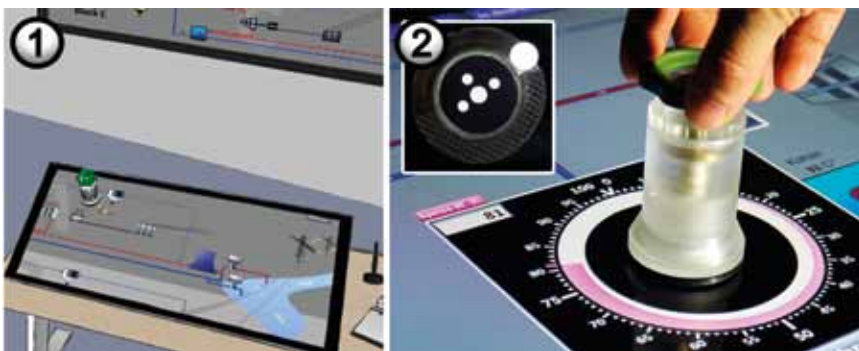
ner kreisförmigen Füllstandanzeige. Die Form des Füllstandes entspricht dabei einem gekrümmten Keil, welcher den Richtungscode unterstützt. Die Anzeige nimmt den Zustand aktiv ein (graue Füllstandanzeige wird magentafarben), sobald das Kontrollelement vom Display erkannt wird. Um einerseits die Führung beim Stellvorgang zu bewahren und andererseits eine Haftung auf der geneigten Oberfläche zu garantieren, ist auf der Auflagefläche des Drehgriffes eine Adhäsionsfolie angebracht.

**Touch Kontrollelement.** Das digitale Konzept zur Eingabe per Finger sieht zunächst die direkte Manipulation einer digitalen Metapher vor, welche sich am haptischen Drehgriff orientiert. Während diese Ausprägung auf haptische Qualitäten verzichten muss, wird eine Berührbarkeit bei der Interaktion dadurch erzielt, indem gemäß den *Naïve Physics* [9] physikalische Prinzipien nachgeahmt

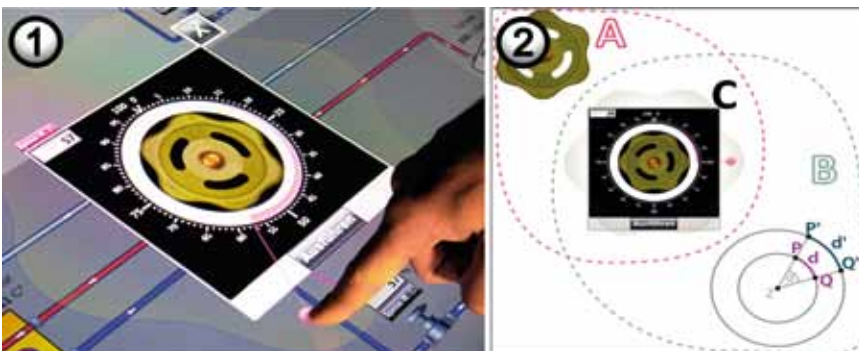
werden. Somit orientiert sich die grundlegende Bedienung stark an der realen Funktionsweise und deckt sich daher mit dem haptischen Konzept, d. h. der Drehgriff wird mit dem Finger durch eine radiale Bewegung bedient (siehe Bild 5 (1)).

Dadurch wird die direkte Manipulation der bildlichen Metapher als natürlich empfunden und die Interaktion anhand selbst erklärender Gesten (vgl. [16]) möglich. Im Sinne des *Conceptual Blending* erlaubt das Konzept eine Bedienung, welche sich aus dem *Blend* zweier *Input Spaces* ergibt (siehe Bild 5 (2)). Neben dem *Input Space Drehregler* (siehe Bild 5 (2), A) stellt das Konzept des geometrischen Kreises einen weiteren *Input Space* dar (siehe Bild 5 (2), B). Beide Konzepte haben eine runde Form und die damit verbundenen Merkmale wie Umfang, Mittelpunkt und Radius gemein.

Im Gegensatz zum Drehregler handelt es sich beim Kreis jedoch um eine abstrakte geometrische Formbeschreibung, deren Parameter nach Belieben variiert werden können. Wird bei einem bestimmten Winkel beispielsweise der Radius vergrößert, so vergrößert sich gleichzeitig auch der Kreisbogen des jeweiligen Kreissektors (aus  $d$  wird  $d'$ ). Beim *Drehregler* wiederum entspricht der Winkel dem internen Zustand des Elements. Das virtuelle Kontrollelement (siehe Bild 5 (2), C) erbt die Eigenschaft des variablen Radius, indem der Berührungspunkt aus seiner natürlichen Umlaufbahn gezogen werden kann. Je nach Radius kann der Operateur dynamisch zwischen einer schnellen Bedienweise (z. B. von 0 auf 50 durch das Zentrum) oder einer präzisen Bedienweise (Ziehen des Berührungspunktes nach außen zur Feinjustierung) wählen. Berührungspunkt und Drehrad sind durch eine Linie verbunden. Der Berührungspunkt schnell nach dem Heben des Fingers an die entsprechende Stelle des Drehrads zurück. Um die Verständlichkeit des *Blends* trotz des unnatürlichen Verhaltens zu erhalten, wird das Drehrad halbrtransparent und entsprechend des aktuellen Radius vergrößert dargestellt. Außerdem wird ein direktes Antippen eines Zahlenwertes auf der Visualisierung unterstützt. Neben den metaphorisch nachgeahmten Bedieneigenschaften wurde das virtuelle



**Bild 4:** (1) Horizontale Ausrichtung des Display; (2) Tangible: Haptischer Drehregler für geführten rotatorischen Stellvorgang mit Anschlag an den Rotationsenden. Marker auf der Unterseite ermöglichen die Erkennung des Rotationszustandes.



**Bild 5:** (1) Virtuelles Kontrollelement zur Steuerung von Prozessvariablen, welche mit einem virtuellen Drehgriff bedient werden. (2) Das Bedienkonzept erbt einerseits Merkmale des haptischen Konzeptes (A, Anmutung und radiale Bedienung), ist jedoch um digitale, nicht-realistische Eigenschaften erweitert (B, Änderung des Bedienradius). Die dadurch entstehende Vermischung (*Blend*, C) ermöglicht eine gleichermaßen intuitive und effiziente Bedienung.

Konzept somit um die Möglichkeiten der digitalen Welt erweitert. So lässt sich in dieser Variante zwar kein spürbarer Anschlag realisieren, dafür kann bei einem Stellvorgang vom höchsten zum niedrigsten Wert abgekürzt werden.

## 4. Experimentelle Benutzerstudie

Das Ziel der Studie bestand darin, die Auswirkungen realitätsbasierter Formen der Manipulation von Prozessvariablen im Vergleich zu den traditionellen Formen zu untersuchen. Hierfür wurden die beschriebenen Konzepte im Rahmen einer Benutzerstudie (within-subjects design) mit studentischen Probanden mit der Maus- und der Tastatureingabe hinsichtlich der beiden Merkmale *Bedienungsschwindigkeit* und *Einprägsamkeit der Interaktion* verglichen. Für die Untersuchung wurden neben den realitätsbasierten Konzepten auf dem Interactive Tabletop auch die traditionellen Eingabeformen implementiert: Die Mauseingabe erfolgte dabei entsprechend dem Konzept der Toucheingabe, d. h. durch die Bewegung des Touchpunktes mithilfe des Mauszeigers, während bei der Tastatureingabe zwar die selbe Visualisierung verwendet wurde, die tatsächliche Wertemanipulation jedoch ausschließlich über das Textfeld und die Tastaturzahlen erfolgen. Dies ermöglichte einerseits den Vergleich der realitätsbasierten Eingabeformen untereinander, sowie den Vergleich zum vorherrschenden Eingabeparadigma. Die Tastatur- und Mauseingabe erfolgte am Desktop-Computer an einem Bürotisch und die realitätsbasierte Eingabe an einem Interactive Tabletop System.

An der Studie nahmen 9 weibliche und 15 männliche Probanden mit einem durchschnittlichen Alter von 25.4 Jahren ( $SD = 3.17$ ) teil. 75 % der Teilnehmer gaben an, bereits Erfahrung mit Touchscreens zu haben. Von diesen 18 wurde ein mittlerer Gebrauch von 2.9 ( $SD = 1.7$ ) auf einer Skala von 1 (*sehr selten*) bis 5 (*sehr häufig*) angegeben.

Im Rahmen eines Aufgabenszenarios, welches die Prozessführung im Kraftwerkskontext beinhaltete, mussten die Versuchsteilnehmer in vier un-

terschiedlichen Szenarien (z. B. Ausfall eines Kraftwerkblockes) mit jeder Eingabemodalität (siehe Bild 3) sechs sequenzielle Arbeitsanweisungen befolgen. Die Aufgaben wurden so gestaltet, dass kein domänenspezifisches Prozesswissen zur Bearbeitung erforderlich war. Um sicher zu stellen, dass jeder Teilnehmer das erforderliche Grundverständnis für den Energiegewinnungsprozess aufbringen konnte, wurde vor Beginn der Aufgabe ein Fragebogen zum Prozessverständnis ausgehändigt. Fragen, die falsch beantwortet wurden, wurden vom Versuchsleiter nochmals aufgegriffen. Eine Anweisung bestand aus einer bestimmten Prozessvariablen (z. B. Speisewasserserventil 1) und einem einzustellenden Sollwert (z. B. auf 80 % öffnen). Je nach Anweisung, bzw. benannter Prozessvariable erfolgte die Bedienung über einen bestimmten (virtuellen oder physischen) Stellteiltyp. Nach Anweisung mussten die Teilnehmer, auf einem Fließbild, welches den Gesamtprozess abbildete, zu einer bestimmten Prozessvariable navigieren und deren voreingestellten Zahlenwert (0 bis 100) manipulieren. Die Teilnehmer wurden unterrichtet, die Einstellungen schnellst möglich vorzunehmen und sich sämtliche Bedienhandlungen zu merken. In einem Recalltest, welcher am ausgedruckten Papierschalplan erfolgte, mussten die Teilnehmer die von ihnen eingestellten Werte der Prozessvariablen rekonstruieren. Die Einstellzeiten wurden über ein Logging festgehalten.

Die Anzahl der Erhebungen ergibt sich aus der Anzahl der zusammengefassten Zeitintervalle für jeweils eine Modalität. Die Ergebnisse zeigen, dass die Bedienung durch die realitätsbasierten Konzepte (Tangible  $M = 58.80s$ ,  $SD = 10.73s$ ; Touch  $M = 43.33s$ ,  $SD = 12.34s$ ) zwar signifikant langsamer erfolgte als mit der Maus ( $M = 37.86$ ,  $SD = 7.23s$ ) oder mit der Tastatur ( $M = 34.55s$ ,  $SD = 9.70s$ ). Allerdings konnten sich die Teilnehmer bei der Bedingung über haptische Kontrollelemente besser an die von ihnen eingestellten Werte erinnern, und somit die Situation besser rekonstruieren (Tangible  $M = 3.69$ ,  $SD = 1.37$ ), als bei der Maus- ( $M = 2.94$ ,  $SD = 1.60$ ) und der Tastatureingabe ( $M = 3.15$ ,  $SD = 1.48$ ). In der Touchbedingung konnten sich

die Probanden an  $M = 3.10$  ( $SD = 1.74$ ) Werte erinnern.

In einem Ranking wählten die Teilnehmer die realitätsbasierte Bedienungen *haptisch* an die erste und *touch* an die zweite Stelle. Dies wurde im Falle der haptischen Stellteile unter anderem damit begründet, dass der Stellvorgang intuitiver und besonders verständlich empfunden wurde. Die Ergebnisse liefern erste begründete Anhaltspunkte, dass die Einprägsamkeit positiv durch die Wahrnehmung des Stellvorgangs über die Motorik und den Kraftaufwand über die Muskeln oder Gelenke beeinflusst werden kann. Vor allem in jenen Leitwartendomänen, in welchen die Einstelldauer eine untergeordnete Rolle spielt, bietet die Eingabe über haptische Stellteile interessante Perspektiven.

## 5. Fazit und Ausblick

In diesem Beitrag wurde *Blended Interaction* als Design Framework für die zukunftsweisende Gestaltung von Leitwarten vorgestellt. Anhand eines Szenarios aus dem Kraftwerkskontext wurde gezeigt, wie durch den Einsatz des Frameworks auf die Bedürfnisse und Fähigkeiten der Operateure abgestimmte Visualisierungs- und Interaktionskonzepte geschaffen werden können. Hierfür wurden die jeweiligen Stärken und Schwächen der unterschiedlichen Leitwartengenerationen aufgezeigt: Während sich frühere Leitwarten durch multimodale Benutzungsschnittstellen und entsprechenden motorischen und sensorischen Bedienqualitäten, wie beispielsweise Bedienwiderstände und Einrastgeräusche, auszeichneten, ermöglicht die digitale Leitwarte effiziente Prozesseingriffe. Vor allem im Arbeitsschritt des manuellen Prozesseingriffs spielen beide Aspekte eine wesentliche Rolle. So kann die physische Erfahrbarkeit einen starken Bezug zum Prozesszustand leisten, wohingegen die Möglichkeit des schnellen und informierten Eingriffes in anomalen Betriebssituationen von essenzieller Bedeutung ist. Mit dem Ziel die Manipulation von Prozessvariablen begreifbar zu gestalten, wurden mithilfe des *Blended Interaction* Frameworks zwei realitätsbasierte Konzepte gestaltet

und im Rahmen einer Studie mit der vorherrschenden Tastatur- und Mauseingabe evaluiert. Die Ergebnisse der Studie zeigen schnellere Einstellzeiten bei der traditionellen Manipulation, d. h. der Eingabe numerischer Zahlenwerte mit der Tastatur, wohingegen sich die Teilnehmer bei der Manipulation mit dem haptischen Kontrollelement besser an die von ihnen vollzogenen Arbeitshandlungen erinnern konnten. Dies spricht dafür, dass die Probanden die physischen Bedienelemente aufgrund ihrer Beschaffenheit und der damit assoziierten Funktionsweise den Prozesselementen besser zuordnen konnten. Somit können Konzepte, welche die begreifbare Interaktion ermöglichen, dem Menschen dabei helfen, sich ein angemessenes Bild des Prozesszustandes herzuleiten. Die vorgestellten Konzepte sollen daher als ein erster Ansatz realitätsbasierter Formen der Interaktion im Leitwartenkontext verstanden werden.

Zwar zeigen die Ergebnisse der Studie keine Variante auf, welche in Bezug auf die beiden kritischen Merkmale *Bediengeschwindigkeit* und *Einprägsamkeit der Interaktion* gleichermaßen dominiert. Vielmehr geben Sie jedoch Anlass, eine Koexistenz beider Varianten in Betracht zu ziehen. So könnten Bedienhandlungen in normalen Betriebssituationen, in welchen die Bediengeschwindigkeit eine untergeordnete Rolle spielt, anhand der haptischen Stellteile erfolgen. Erfordert die Situation hingegen einen schnellen Prozesseingriff, so könnte hierfür die Tastatur verwendet werden. Auf diese Weise würden die Operateure selbst bei der Tastatureingabe von den vorherge-

henden, realitätsbasierten Eingriffen und dem dadurch gewonnenen Prozessbezug im Sinne informierter Bedienhandlungen profitieren.

Auf Basis der ersten Erkenntnisse aus der Benutzerstudie mit Studenten ist eine weitere Studie mit Operateuren aus dem Kontext der Energiegewinnung geplant, um so die Validität der Ergebnisse zu verstärken. In einem weiteren Schritt wird geprüft, inwiefern das Konzept der realitätsbasierten Interaktion auch für andere Domänen, wie beispielsweise der Stromverteilung, eingesetzt werden kann.

### Literatur

- [1] Salo, L. & Savioja, P. (2006). Practises of process control in digital control room: possibilities and threats. In ECCE '06, New York, ACM Press, S. 121–122.
- [2] Wickens, C. D., Lee, J. & Liu Y. D. (2003). Introduction to Human Factors Engineering, Newark, Prentice Hall.
- [3] Perrow, C. (1984). Normal Accidents: Living with High-Risk Technologies. Basic Books.
- [4] Rasmussen, J., Annelise, P. & Goodstein, L. P. (1994). Cognitive Systems Engineering. Wiley Series in Systems.
- [5] Jacob, R., Girouard, A., Hirshfield, L., Horn, M., Shaer, O., Solovey E. & Zigelbaum, J. (2007). Reality-based interaction: unifying the new generation of interaction styles. In CHI'07, New York, ACM Press, S. 2465–2470.
- [6] Schwarz, T., Heilig, M., Butscher, S., Mueller, J. & Reiterer, H. (2011). Die Gestaltung der Arbeitsumgebung von Operatoren (k-)ein Platz für Innovationen? In Automation ,11. Düsseldorf, VDI Verlag.
- [7] Jetter, H. C., Geyer, F., Schwarz, T. & Reiterer, H. (2012). Blended Interaction – Toward a Framework for the Design of Interactive Spaces. In AVI '12. New York, ACM Press.
- [8] Dourish, P. (2001). Where The Action Is: The Foundations of Embodied Interaction. Cambridge, MIT Press.
- [9] Jacob, R. J. K., Girouard, A., Hirshfield, L. M., Horn, M. S., Shaer, O., Treacy, E. S. & Zigelbaum, J. (2008). Reality-based Interaction: a framework for post-WIMP Interfaces. In CHI'08. New York, ACM Press, S. 201–210.
- [10] Ishii, H. & Ullmer, B. (1997). Tangible Bits: Towards Seam-less Interfaces between People, Bits and Atoms. In CHI '07, New York, ACM Press, S. 234–241.
- [11] Fauconnier, G. & Turner M. (2002). The Way We Think: Conceptual Blending and the Mind's Hidden Complexities. New York, Basic Books.
- [12] Böhle, F. & Rose, H. (1992). Technik und Erfahrung: Arbeit in hochautomatisierten Systemen. Campus Verlag.
- [13] Hornecker, E. (2008). Die Rückkehr des Sensorischen: Tangible Interfaces and Tangible Interaction. In Mensch-Computer-Interface. Zur Geschichte und Zukunft der Computerbedienug, S. 235–256.
- [14] Müller, J., Schwarz, T., Butscher, S. & Reiterer, H. (2012). Exploring former interaction qualities for tomorrow s control room design. In Mensch & Computer '12, München, Oldenbourg, S. 377–380.
- [15] Bützler, J., Vetter, S., Jochems, N. & Schlick, C. M. (2010). Ergonomische Bewertung von Körperhaltung, Greifräumen und Komfort bei der Arbeit mit großflächigen berührungssensitiven Bildschirmen. In Neue Arbeits- und Lebenswelten gestalten. GfA-Press, S. 823–826.
- [16] Wigdor, D. & Wixon, D. (2011). Brave NUI World: Designing Natural User Interfaces for Touch and Gesture. Morgan Kaufmann.



**1. M.Sc. Tobias Schwarz** ist externer Doktorand der Universität Konstanz. Er ist verantwortlich für das Forschungsprojekt „Holistic Workspace“ mit den Schwerpunkten Usability Engineering und Interaction Design. Das Projekt wird in Kooperation mit der Siemens AG (Corporate Technology) durchgeführt.

Arbeitsgruppe Mensch-Computer Interaktion, Universität Konstanz, Universitätsstr. 10, 78457 Konstanz, Tel.: +49 (7531) 88-5218  
E-Mail: tobias.schwarz@uni-konstanz.de

**2. M.Sc. Simon Butscher** ist Doktorand der Universität Konstanz. Er ist Mitarbeiter im Projekt „Holistic Workspace“ und verantwortlich für das Projekt „Lernort Bibliothek“. Sein Forschungsschwerpunkt liegt unter anderem im Bereich der Informationsvisualisierung für kollaborative Umgebungen.

Arbeitsgruppe Mensch-Computer Interaktion, Universität Konstanz, Universitätsstr. 10, 78457 Konstanz, Tel.: +49 (7531) 88-5218  
E-Mail: simon.butscher@uni-konstanz.de

**3. M.Sc. Jens Müller** ist Doktorand der Universität Konstanz. Er ist Mitarbeiter im Projekt „Holistic Workspace“ und Verantwortlicher des Projektes „Libros“, welches neuartige Ansätze der Interaktion im Kontext von Bibliotheken untersucht. Sein Forschungsschwerpunkt liegt im Bereich Interactive Tabletops.

Arbeitsgruppe Mensch-Computer Interaktion, Universität Konstanz, Universitätsstr. 10, 78457 Konstanz, Tel.: +49 (7531) 88-3547  
E-Mail: jens.mueller@uni-konstanz.de

**4. Prof. Dr. Harald Reiterer** leitet die Arbeitsgruppe Mensch-Computer Interaktion im Fachbereich Informatik und Informationswissenschaft der Universität Konstanz. Seine Forschungsschwerpunkte liegen in den Bereichen Interaction Design, Usability Engineering und Information Visualization.

Arbeitsgruppe Mensch-Computer Interaktion, Universität Konstanz, Universitätsstr. 10, 78457 Konstanz, Tel.: +49 (7531) 88-3704  
E-Mail: harald.reiterer@uni-konstanz.de



1



2



3



4