

# **Holistic Workspace - Neue Interaktionsformen für die Leitwarte der Zukunft**

**Tobias Schwarz, Jens Müller, Simon Butscher**

Prof. Dr. **Harald Reiterer**

Arbeitsgruppe Mensch-Computer Interaktion, Universität Konstanz

## **Kurzfassung**

In diesem Beitrag wird die Gestaltung einer neuen Arbeitsumgebung für Operatoren in Leitwarten diskutiert. Hierbei werden den Operatoren durch den Einsatz von neuen interaktiven Endgeräten und Visualisierungen, sowie der Einbindung realweltlicher Objekte neue Formen der Interaktion geboten. Die Visualisierungs- und Interaktionskonzepte werden für die Manipulation von Prozessvariablen vorgestellt. Weiterhin werden Ergebnisse einer experimentellen Benutzerstudie berichtet, in der ein möglicher Paradigmenwechsel neuer Interaktionsformen untersucht und diskutiert wird.

## **1. Einführung und Motivation**

Im Zuge der voranschreitenden Digitalisierung innerhalb der letzten Jahrzehnte hat sich die Arbeit von Operatoren in Leitwarten stark verändert. Leitwarten sind Einrichtungen zur zentralen Steuerung technischer Prozesse wie sie bspw. in Kraftwerken stattfinden. Durch den Einzug der Automatisierung hat sich jedoch der Verantwortungsbereich von Operatoren, welche die Prozesse in den Leitwarten steuern, vom Führen der Prozesse zu fast ausschließlich Überwachungstätigkeiten verschoben [13]. So werden die Prozesse nicht mehr direkt am Ort des Geschehens gesteuert, sondern mit Hilfe einer Vielzahl von Bildschirmen zentral überwacht. Historisch gesehen lassen sich für die in der Prozesssteuerung verwendeten Interaktionstechnologien drei Paradigmen identifizieren (siehe Bild 1): (1) dezentrale Prozesssteuerung, (2) zentrale, manuelle Prozesssteuerung und (3) zentrale, digitale Prozesssteuerung. Einhergehend mit dieser Entwicklung sind die kognitiven Anforderungen an den Menschen gestiegen: Operatoren in derzeitigen Leitständen sind einer zunehmenden Komplexität der Mensch-Maschine-Schnittstelle ausgesetzt [10]. Durch die erhöhte Digitalisierung gingen wichtige soziale sowie physische Mehrwerte der einstmaligen Arbeitsumgebung verloren. Bei der Betrachtung der früher vorherrschenden Paradigmen der Prozessführung zeigt sich, dass manuelle Stellteile wie Drehregler oder Kippschalter die Vorteile physischer Artefakte bargen und in der heutigen

Prozesssteuerung verloren gegangen sind. Jedoch darf nicht außer Acht gelassen werden, dass der Einzug moderner Computertechnologie gerade im Bereich der Prozessvisualisierung auch enorme Vorteile mit sich brachte. So können komplexe Prozesszusammenhänge unter Nutzung der heute zur Verfügung stehenden Medien und deren spezifischen Eigenschaften dargestellt werden.



Bild 1: Interaktionsparadigmen der Prozesssteuerung: (1) Dezentrale Prozesssteuerung; (2) zentrale, manuelle Prozesssteuerung; (3) zentrale, digitale Prozesssteuerung. [10]

Rasmussen et al. [8] fordern in diesem Zusammenhang, dass Prozessvisualisierungen und Interaktionstechniken entwickelt werden, welche der Natur sowohl der menschlichen Wahrnehmung und Informationsaufnahme, der mentalen Modelle der Operatoren als auch der menschlichen Problemlöse- und Planungsvorgänge angepasst sind. In Anbetracht dieser jeweiligen Vorteile erfordern neue Interaktionskonzepte für Leitwarten daher die wohlbedachte Kombination aus den Qualitäten der früheren Arbeitsumgebung und den Potentialen der digitalen Welt. Im Beitrag wird ein möglicher Paradigmenwechsel vorgestellt, welcher sich von der Entwicklung rein virtueller Welten entfernt. Die theoretische Basis liefern die Prinzipien der „Embodied Cognition“ [1], der „Reality-Based Interaction“ [4, 5] sowie der „Blended Interaction“ [6].

## 2. Grundlagen

In heutigen Kraftwerken dient der digitale Schaltplan, ein Fließbild, welches die topologischen Zusammenhänge des zu überwachenden Prozesses schematisch darstellt, als Benutzungsschnittstelle. Neben der Repräsentation des Prozesses bieten Schaltpläne die Möglichkeit, durch sog. virtuelle Bedienelemente in das aktuelle Prozessgeschehen einzugreifen. Der Eingriff findet derzeit über herkömmliche Desktop Computer statt und erfolgt per Maus und Tastatur. Der Aktion der Wertemanipulation (z. B. Ventil schließen) gehen meist die folgenden Benutzeraktionen voraus: (1) Navigation zur gesuchten Prozessvariablen, (2) Selektion der Prozessvariablen und (3) Manipulation der

Prozessvariablen. Innerhalb eines Dialogfensters findet schließlich die Manipulation der Prozessvariablen durch das sog. „Stellen“, d. h. das Ändern ihres Wertes statt. Die Manipulation erfolgt dabei entweder durch die Manipulation einer metaphorischen Visualisierung der Variable (z. B. eines Thermometers oder eines Ventils) oder sie wird direkt in das dazugehörige Textfeld eingegeben. Während im Zuge der Digitalisierung die Möglichkeiten der Datenverarbeitung und damit auch die Größe und Komplexität der zu überwachenden Prozesse drastisch stiegen, führte die Interaktion über Desktop Systeme bis in den heutigen Tag zu einer ebenso drastischen Reduktion der physischen Qualitäten und schmälern dadurch den Prozessbezug. Wickens et al. [12] 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 [7]. Vor dem Hintergrund der physischen Abwesenheit des Prozesses stellt die angemessene Gestaltung von Benutzungsschnittstellen in derzeitigen Leitwarten daher eine große Herausforderung dar.

Erkenntnisse aus der Kognitionswissenschaft bestätigen, dass eine enge Verbindung zwischen Denkprozessen, der Wahrnehmung und körperlichen sowie sozialen Handlungen besteht [1]. Daraus folgt nach den Prinzipien der „Embodied Cognition“, dass in Bezug auf das Design von Arbeitsumgebungen der Operator ganzheitlich, d. h. mit seinen physischen und kognitiven Fähigkeiten, sowie seinem sozialen Kontext zu betrachten ist. Ziel der „Reality-Based Interaction“ von Jacob et al. [4] ist es, die Interaktion zwischen Mensch und Maschine an der realen Welt zu orientieren. Somit können gelernte und evolutionsbedingte Charakteristiken des Menschen genutzt werden, um Interaktion begreifbarer zu gestalten. Innerhalb der „Reality-Based Interaction“ wird zwischen zwei grundsätzlichen Interaktionsformen unterschieden: die Interaktion in der realen Welt („in the real world“) und die Interaktion, welche die reale Welt nachahmt („like the real world“). Die erste Interaktionsform konzentriert sich auf computergestützte physische Artefakte, wie bspw. Tangible User Interfaces (TUIs). Ishii und Ullmer [3] erachten die Anwendung von TUIs im Kontext von Informationsmanagement und –manipulation als besonders sinnvoll. Um das Potenzial von TUIs voll auszuschöpfen, schlagen sie vor, physische Objekte mit virtuellen Funktionen anzureichern. Die zweite Interaktionsform der „Reality-Based Interaction“ basiert auf dem Transfer von Wissen aus der realen Welt in die virtuelle Welt. Die alleinige Steigerung des Realitätsbezuges der Interaktion reicht hierbei jedoch nicht aus. Die

besondere Herausforderung und der vom Standpunkt des Operators entscheidende Vorteil kann insbesondere durch ein sinnvolles Ineinandergreifen der erprobten Möglichkeiten der realen Welt mit denen der digitalen Welt erreicht werden [9]. Anders als in der „Reality-Based Interaction“ wird die Realität innerhalb der „Blended Interaction“ als dynamischer Mix aus digitalen und realweltlichen Konzepten betrachtet. So wenden Benutzer nicht nur gelernte Konzepte aus der realen, nicht-digitalen Welt an, sondern auch Konzepte, welche sie bei der Nutzung vertrauter digitaler Technologien erlernt haben [6]. Im Sinne der „Blended Interaction“ interagieren die Benutzer allein oder in Teams und wechseln dabei nahtlos zwischen realweltlicher und computergestützter Interaktion und Kommunikation [6].

### **3. Reality-Based Interaction für die Manipulation von Prozessvariablen**

Während der Prozessbezug in der vordigitalen Leitwarte durch die reichhaltige sensorische und motorische Erfahrbarkeit der manuellen Stellteile begünstigt wurde, erfolgt die Herstellung eines Bezugs zum überwachten Prozess mittlerweile lediglich in Form virtueller Bedienelemente auf visueller Ebene. Diese vermögen jedoch nur durch ihre (visuelle) metaphorische Repräsentationen an die Vorerfahrungen und das Prozesswissen der Operatoren anzuknüpfen. Durch die Bedienung per Maus werden motorische und sensorische (Prozess-)Fähigkeiten des Operators fast gänzlich ausgeblendet. Ebenso sind sensorische Rückschlüsse auf das aktuelle Prozessgeschehen ausschließlich auf die visuelle Ebene beschränkt. Die Erfahrbarkeit von Interaktion, welche neue Interaktionsformen und -technologien wie Interactive Tabletops ermöglichen, versprechen eben jene sensorische Qualitäten ohne dabei auf die Potentiale der digitalen Welt verzichten zu müssen. Diese Dualität wird im Framework „Reality-Based Interaction: A Framework for Post-WIMP Interfaces“ [5] als „Power vs. Reality“ Trade-off beschrieben. Dementsprechend sollten Benutzungsschnittstellen in erster Linie den Benutzer unter Berücksichtigung seines Vorwissens über die Prinzipien und Funktionsweisen der realen Welt („Reality“) unterstützen und wohlbedacht um die Möglichkeiten der digitalen Welt („Power“) erweitert werden, um den gewünschten Anforderungen („Desired Qualities“) gerecht zu werden. Das Ziel ist es daher, die Qualitäten und Möglichkeiten beider Prinzipien („Power & Reality“) jeweils bestmöglich zu kombinieren. Benutzungsschnittstellen, welche sich die Vorteile beider Prinzipien zu Nutzen machen, werden als realitätsbasierte Benutzungsschnittstellen bezeichnet. Interactive Tabletops eignen sich für die Umsetzung realitätsbasierter Interfaces, da sie sich durch die Erfahrbarkeit der Interaktion von den traditionellen Eingabeszenarien deutlich abheben. So ist die Toucheingabe im Wesentlichen durch die Kinästhetik geprägt, wodurch nach der Definition von Stanney et al. [11] Information und letztlich auch Interaktion

durch die Motorik und den Kraftaufwand auf Muskeln oder Gelenke wahrgenommen wird. Eine weitere Qualität wird der Tangible Bedingung zugesprochen, da sie neben dem kinästhetischen Aspekt über eine taktile Komponente verfügt, wonach Information durch die Rezeptoren der Nerven in der Haut anhand von Form und Textur wahrgenommen werden. Beide Aspekte, d. h. die dynamische Komponente der Kinästhetik sowie die statische Eigenschaft taktile Bedienoberflächen fassen Hale und Stanney [2] unter dem Begriff Haptik zusammen. Während Tangible Interfaces die reale Welt instanzieren, imitieren Touch Interfaces die reale Welt und können dadurch die Mauern natürlicher physikalischer Grenzen bewusst durchbrechen, um dadurch eine effizientere Bedienung zu ermöglichen. So lässt sich im Kontext der Visualisierung und Interaktion folgende Fragestellung ableiten: „Welche Auswirkungen haben realitätsbasierte Formen der Manipulation von Prozessvariablen im Vergleich zu den traditionellen Formen?“ Um hierfür ein möglichst umfassendes Bild zu erhalten, wurden 4 konkrete Beobachtungsaspekte abgeleitet: *subjektiv empfundener Workload (A1)*, *Einstelldauer (A2)*, *Einprägsamkeit (A3)* und *subjektive Präferenzen (A4)*, welche in einer experimentellen Benutzerstudie untersucht wurden.

#### **4. Visualisierungs- und Interaktionskonzept**

Im Folgenden werden Konzepte zu klassischen Stellteilen (Schieberegler und Drehregler) aus dem Kraftwerkskontext vorgestellt, welche auf Basis der realitätsbasierten Prinzipien gestaltet und im Rahmen eines Usability Tests unter den oben genannten Aspekten beleuchtet wurden. Neben den realitätsbasierten Konzepten auf dem Interactive Tabletop wurden auch die traditionellen Eingabeformen implementiert: Die Mauseingabe erfolgt dabei entsprechend dem Konzept der Toucheingabe, während bei der Tastatureingabe die Wertemanipulation ausschließlich über das Textfeld und die Tastaturzahlen erfolgen. Dies ermöglichte einerseits den Vergleich der realitätsbasierten Eingabeformen untereinander, sowie den Vergleich zum vorherrschenden Eingabeparadigma.

##### **4.1 Schieberegler**

Der Schieberegler gehört nach DIN EN 894-3 (Stellteile) zur Familie der translatorischen Stellteile mit kontinuierlicher Stellbewegung. Grundsätzlich erlaubt der Schieberegler durch die Lage des Schiebeknopfes sowohl Blindbedienung als auch eine bedingte Sichtkontrolle. Das Stellen auf den Minimal- und Maximalwert ist durch die untere, bzw. obere Begrenzung der Führungsschiene haptisch nachvollziehbar.

#### 4.1.1. Tangible Konzept

Für die Realisierung des Tangible Konzeptes wurden die grundsätzlichen Bedienmerkmale eines Schiebereglers übernommen. Um die Sichtkontrolle zu verbessern und einen möglichst nahtlosen Übergang zwischen digitaler und realer Welt zu schaffen, wurde eine unterstützende Visualisierung zur Füllstandanzeige auf dem Touch Display implementiert (siehe Bild 2, links). Da Tangibles im Gegensatz zu traditionellen Stellteilen mobil sind, d. h. vom Display entfernt werden können, ist es zudem wichtig, dass sich diese Visualisierung entsprechend dem aufgelegten Tangible nahtlos anpasst. Für ein präzises Einstellen darf darüber hinaus der Bedienwiderstand weder zu groß (Tangible rutscht weg oder Schiebeknopf bewegt sich ruckartig) noch zu niedrig (Schiebeknopf hat keinen fühlbaren Widerstand) sein. Ferner muss das Tangible für eine saubere, geführte Bedienung genügend Adhäsion mit dem Display haben. Die Haftung verhindert zudem ein ungewolltes Stellen durch Verrücken des Tangibles. Als Vakuummaterial wurde das Nano-Pad<sup>1</sup> des Herstellers Inotec verwendet. Die Materialeigenschaften erschließen sich aus dem Bereich der Bionik.

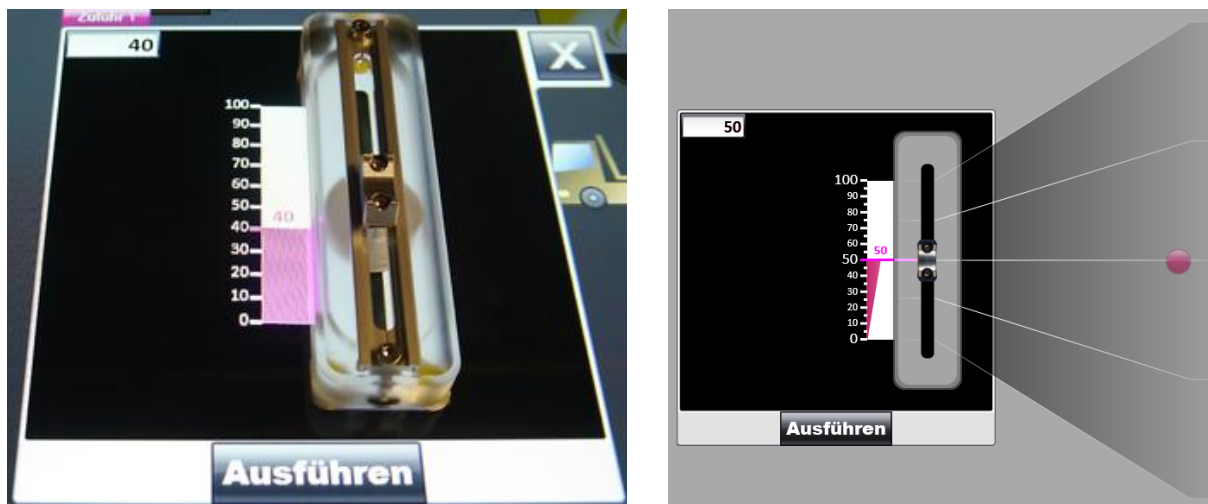


Bild 2: Interaktionskonzepte für Schieberegler (links) Tangibles (rechts) Touchbediengung

#### 4.1.2. Touch Konzept

Das Konzept sieht die metaphorische Umsetzung des Schieberegler Stellteils vor (siehe Bild 2, rechts). D. h. die Funktionsweisen wurden metaphorisch implementiert während sich die optische Erscheinung am Tangible orientiert. Durch die Möglichkeiten der digitalen Welt ist es zudem möglich, Werte direkt anzuspringen. Neben dieser Möglichkeit zur potentiell schnelleren Werteeinstellung soll jedoch auch die Einstellgenauigkeit erhöht werden, bzw. dem Benutzer die Kontrolle des *Speed-Accuracy Tradeoffs* [12] ermöglicht werden. Dies ist

---

<sup>1</sup> <http://www.nano-pad.com/>

dadurch möglich, dass die Bewegungsfreiheit keiner physischen Führung unterliegt und die Werteeinstellung auch abseits der metaphorischen Führungsschiene mit einem geänderten Maßstab vollzogen werden kann. Hierfür wurde eine trichterförmige Erweiterung geschaffen, durch welche der Benutzer über die x-Richtung die Skalierung des Maßstabs selbst bestimmen, und in y-Richtung den Wert wie gewohnt erhöhen oder herabsetzen kann. Für den Benutzer ist das Anspringen eines speziellen Wertes auch außerhalb des sichtbaren Schieberegler möglich. Zum besseren Verständnis und als visuelles Feedback dient ein zusätzlicher virtueller Schiebeknopf. Dieser befindet sich stets unter dem Finger, bzw. dem Cursor und kann nicht aus der Ober- und Untergrenze der Trichtervisualisierung herausgezogen werden. Wird der Anfasspunkt losgelassen, wird dieser zurück auf den metaphorischen Anfasspunkt animiert.

## **4.2 Drehregler**

Ventile, bzw. Drehgriffe gehören nach DIN EN 894-3 (Stellteile) zur Familie der rotatorischen Stellteile mit kontinuierlichen Stellbewegungen. Dabei erfolgt die Bedienung senkrecht zum Zufassungsgriff. Zwar ist eine Blindbedienung möglich, eine Sichtkontrolle ist jedoch stark beschränkt, da die Stellung des Drehgriffes keine Rückschlüsse auf die aktuelle Einstellung zulässt.

### **4.2.1 Tangible Konzept**

Die digitale Anzeige des Durchlasses baut sich radial um die Kontaktfläche auf dem Display auf (siehe Bild 3, links). Dabei ist wichtig, dass die Ausrichtung des Tangibles (äußere Rotation) beim Aufsetzen unabhängig von der Winkeldrehung des Rades (internen Rotation) ist und das Tangible beliebig aufgesetzt werden. Die numerischen Werte werden entlang des Füllstandes abgebildet. Die Drehrichtung wird visuell dadurch verstärkt, indem die Anzeige mit zunehmendem Wert nicht nur füllstandartig entlang des Kreises, sondern auch im Durchmesser wächst. Die Anzeige wächst dabei von außen nach innen, um eine bestmögliche Lesbarkeit der Anzeige anhand der Zahlenwerte zu ermöglichen. Die Anordnung der Zahlen orientiert sich an der Uhrmetapher, entspricht dabei jedoch nicht der korrekten Drehrichtung. Die Ergebnisse der Vorstudie (N=12), in welcher für jede Bedienbedingung jeweils beide Drehrichtungen getestet wurden, zeigte jedoch deutlich die Überlegenheit der visuellen Darstellung. Um an die realweltliche Vorerfahrung des haptischen Widerstands beim Minimal- und Maximalwert anzuknüpfen, wurden die physischen Constraint-Eigenschaften durch einen fühlbaren Anschlag beim vollständigen Auf- und Zudrehen genutzt. Im Sinne einer realistischen Bedienung findet das Drehen

geführt, d. h. mithilfe eines Gewindes statt. Entsprechend dem Schieberegler ist die Bedienung, d. h. die Drehung des Rades, auch hier mit einem gewissen Widerstand verbunden. Die Adhäsion zwischen Tangible und Display wurde entsprechend dem Schieberegler realisiert.

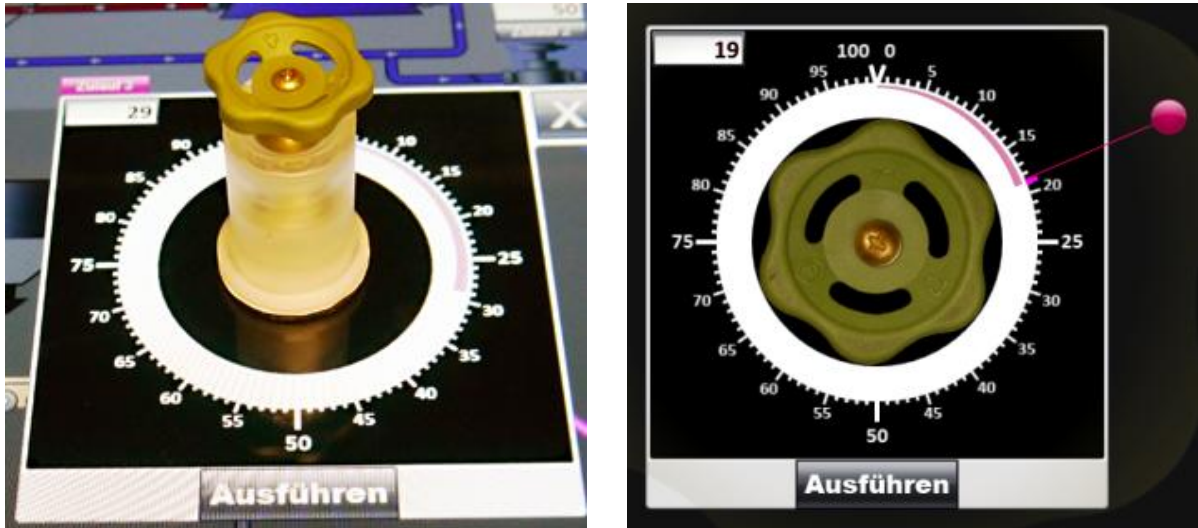


Bild 3: Interaktionskonzepte für Ventil (links) Tangible (rechts) Touchbedienung

#### 4.2.1 Touch Konzept

Das visuelle Design sowie die Funktionalität orientieren sich am Tangible d. h. an der realen Welt. Da das Ventil mit senkrechter Handstellung bedient wird, ist es entsprechend in der Draufsicht dargestellt, so dass der Drehgriff sichtbar ist (siehe Bild 3, rechts). Das Drehen des Griffes erfolgt durch eine Interaktion mit der Radmetapher. Entsprechend den Möglichkeiten der digitalen Welt ist die Drehbewegung des Griffes keiner physischen Führung unterworfen. Dies erlaubt das Bedienen des Drehgriffes auch außerhalb der Radvisualisierung und damit eine Bedienung zugunsten der Geschwindigkeit oder der Stellgenauigkeit (*Speed-Accuracy Tradeoff*): Durch eine Drehbewegung außerhalb der Radvisualisierung wird einerseits der zurückgelegte Weg für eine Werteänderung erhöht, gleichermaßen jedoch auch die Präzision erhöht. Der Drehgriff wird hierbei bei halber Transparenz entsprechend dem Abstand des Anfasspunktes zum Mittelpunkt vergrößert, um die bildliche visuelle Metapher des Ventils während des Stellvorgangs beizubehalten. Das Element ermöglicht jedoch auch das direkte Anspringen von Werten und dies auch außerhalb des Rades. Die Ausrichtung des Drehrades orientiert sich am relativen Winkel des Anfasspunktes zum Mittelpunkt des Drehrades. Wird der Anfasspunkt losgelassen, „schnappt“ dieser auch hier in einer schnellen Animation an die entsprechende Stelle auf den Drehgriff zurück.



## 5. Evaluation

Um zunächst Einblicke in die grundsätzlichen Effekte der realitätsbasierten Wertemanipulation zu gewinnen, wurde ein Usability-Test (Dauer ca. Minuten) durchgeführt. Hierfür wurden die vier vorgestellten Eingabelemente mit zwei Kontrollbedingungen d. h. mit der klassischen Eingabe über Tastatur, bzw. mit Hilfe der Maus verglichen. Die Visualisierungen für die Eingabe über Tastatur bzw. Maus wurden dabei aus den vorgestellten Konzepten übernommen. Im Rahmen eines within-subjects Designs bekam jeder Versuchsteilnehmer für jedes der beiden Bedienelemente (Drehregler, Schieberegler) und unter jeder Eingabebedingung (Tastatur, Maus, Touch, Tangible) fünf Zahlen in Folge eingeblendet, welche unter der aktuellen Bedingung eingegeben und bestätigt werden mussten. Im darauf folgenden Recalltest bekam jeder Teilnehmer fünf Kärtchen, auf denen das zuletzt verwendete Bedienelement abgebildet war, mit der Aufgabe je ein Kärtchen mit einer der vorgekommenen Zahlen zu beschriften und die Karten in korrekter chronologischer Reihenfolge anzuordnen. Hierbei wurden sowohl die Einstellzeiten (durch Interactionlogging) als auch die Ergebnisse des Recalltests (durch Versuchsleiterbogen) erfasst. Die Studie bestand aus zwei Durchläufen beider Bedienelemente in jeder Bedingungen, d. h. sie umfasste 16 Zahlenketten. Nach jedem Recalltest der zweiten Iteration füllten die Probanden zudem den NASA-TLX aus und gaben an, wie ihnen die Art der Werteeingabe gefallen hat. Zusätzlich wurden die persönlichen Neigungen hinsichtlich der Bedienbedingung und des Bedienelements zusammenfassend per Fragebogen erfasst. Um mögliche Reihenfolgeeffekte bei der Bedienbedingung ausschließen zu können, wurde die Studie komplett ausbalanciert und die Reihenfolge des Bedienelements randomisiert. An der Studie nahmen 9 weibliche und 15 männliche Probanden mit einem durchschnittlichen Alter von 25.4 Jahre (SD = 3.17), welche ihre Computerexpertise im Mittel mit  $M = 3.3$  (SD = 0.85; Skala von 1 = Anfänger bis 5 = Experte) angaben, teil. 75% der Teilnehmer gaben an, bereits Erfahrung mit Touchscreens zu haben.

*Ergebnisse (A1):* Im Durchschnitt ergab der TLX einen signifikant<sup>2</sup> höheren Workload für den Schieberegler in der Tangible- ( $M = 39.06$ ;  $SD = 16.15$ ) und der Touchbedingung ( $M = 39.69$ ;  $SD = 18.64$ ) gegenüber der Tastatureingabe ( $M = 26.84$ ;  $SD = 18.68$ ). Diese sind in beiden Fällen auf signifikant höhere körperliche Anstrengung (Touch = 33.96, Tangible = 34.79, Tastatur = 9.17) zurückzuführen.

---

<sup>2</sup> Für sämtliche Ergebnisse wird ein Signifikanzniveau von  $p < .05$  angenommen.

*Ergebnisse (A2):* Die Überprüfung der Abhängigkeit der Ergebnisse beim Recalltest von der benötigten Zeit für die Werteeinstellung ergab eine sehr schwache jedoch statistisch signifikante Korrelation von  $r = 0.23^3$ . Die Werteeingabe per Tastatur erfolgte durchschnittlich in 4.02 Sekunden beim Schieberegler (SD = 2.89) bzw. 4.17 Sekunden beim Drehregler (SD = 3.12), per Maus in 7.74 Sekunden beim Schieberegler (SD = 3.74) und 6.99 Sekunden beim Drehregler (SD = 3.36), per Touch in 8.39 Sekunden beim Schieberegler (SD = 4.20) und 8.45 Sekunden beim Drehregler (SD = 3.77) und bei der Eingabe durch Tangibles in 10.39 Sekunden beim Schieberegler (SD = 5.23) und 7.86 Sekunden beim Drehregler (SD = 3.73). Im Durchschnitt erfolgte die Werteeingabe per Tastatur mit  $M = 4.1$  (SD = 3.0), per Maus mit  $M = 7.4$  (SD = 3.6), per Touch mit  $M = 9.1$  (SD = 4.7) und per Tangible mit  $M = 8.4$  (SD = 4.0) Sekunden. Bild 4 fasst in der linken Grafik die Zeiten zusammen.

*Ergebnisse (A3):* Grundsätzlich konnten sich die Probanden in der Tangiblebedingung an mehr korrekte Werte in richtiger Reihenfolge erinnern als in den jeweiligen Tastatur-, Maus- und Touchbedingungen (siehe Bild 4, rechte Grafik).

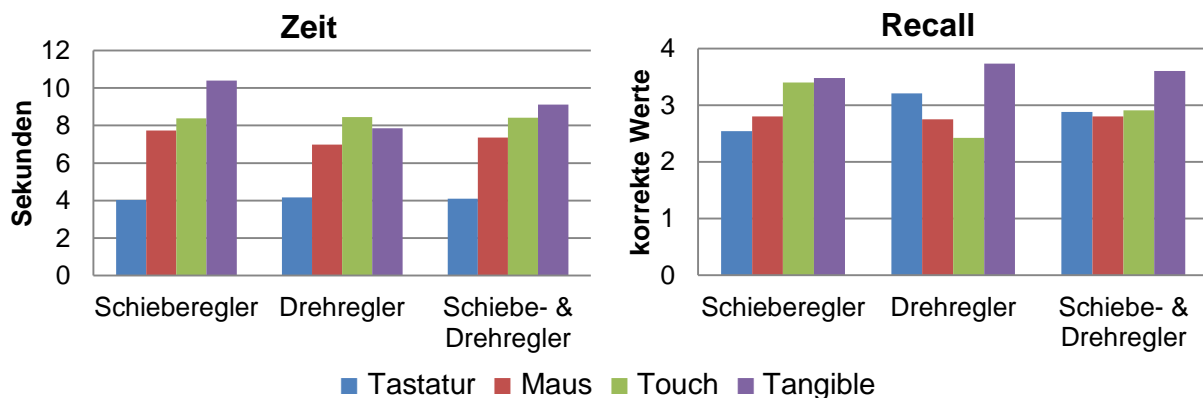


Bild 4: Benötigte Zeit der Werteeinstellung (links) und Recallwerte der Bedingungen (rechts)

In der Tangiblebedingung konnten sich die Probanden an  $M = 3.6$  Werte erinnern (SD = 1.43; für Schieberegler  $M = 3.48$ , SD = 1.58; für Drehregler  $M = 3.73$ , SD = 1.25). In der Touchbedingungen waren es  $M = 2.91$  Werte (SD = 1.7; für Schieberegler  $M = 3.4$ , SD = 1.66; für Drehregler  $M = 2.42$ , SD = 1.59) genauso viele Werte wie bei der Mausbedingung mit  $M = 2.8$  (SD = 1.69; für Schieberegler  $M = 2.8$ , SD = 1.72; für Drehregler  $M = 2.75$ , SD = 1.65) bzw. der Tastaturbedingung mit  $M = 2.88$  (SD = 1.65; für Schieberegler  $M = 2.54$ , SD = 1.49; für Drehregler  $M = 3.21$ , SD = 1.73). Die Unterschiede in Bezug auf den Recall der beiden Tangibles zu den entsprechenden Elementen (Schieberegler,

<sup>3</sup> für  $p < .05$  nach der Tabelle der kritischen Werte für einen Korrelationskoeffizient nach Pearson.

Drehregler) der anderen drei Bedingungen (Tastatur, Maus, Touch) ist dabei in den meisten Fällen auch signifikant (siehe Tabelle 1).

		Tastatur		Maus		Touch	
		t(96)	p	t(96)	p	t(96)	p
Tangible	Schieberegler	1.99	.00	1.99	.06	1.99	.80
	Drehregler	1.99	.10	1.99	.00	1.99	.00
	Schiebe- & Drehregler	1.97	.00	1.97	.00	1.97	.00

Tabelle 1: Signifikanz der Unterschiede der Eingabebedingungen in Bezug auf den Recall mittels des T-Tests

*Ergebnisse (A4):* Abgesehen von der Tastaturbedingung, in welcher die Probanden schwach zum Schieberegler tendierten ( $M = 0.13$ ;  $SD = 0.44$ ; Skala von  $-2 = \text{Drehregler}$  bis  $2 = \text{Schieberegler}$ ), ging die Tendenz bei der Maus- ( $M = -0.46$ ;  $SD = 1.41$ ), Touch- ( $M = -1.25$ ;  $SD = 1.09$ ) und Tangible- ( $M = -0.25$ ;  $SD = 1.53$ ) Bedingung gegen Drehregler. Die hohen Mittelwerte bei der Maus- und Touchbedingung spiegeln sich auch in den Ergebnissen der subjektiven Zufriedenheitsangabe wider, welche in beiden Fällen für das Drehreglerelement signifikant höher waren. In der Mausbedingung wurde für den Schieberegler ein Durchschnitt von  $M = -0.33$  ( $SD = 1.07$ ; Skala von  $-2$  „überhaupt nicht gefallen“ = bis  $2$  „sehr gefallen“) und für den Drehregler ein Durchschnitt von  $M = 0.63$  ( $SD = 1.07$ ) ermittelt. In der Touchbedingung wurde der Schieberegler mit  $M = -0.71$  ( $SD = 1.02$ ) und der Drehregler mit  $M = 0.75$  ( $SD = 1.13$ ) bewertet. Keine signifikante Tendenz gab es in der Tangible Bedingung, welche daher zusammengefasst betrachtet werden kann (Schieberegler:  $M = 0.04$ ;  $SD = 1.27$  / Drehregler:  $M = 0.58$ ;  $SD = 1.15$ ). Entsprechend verhält es sich bei der Tastaturbedingung (Schieberegler:  $M = 0.67$ ;  $SD = 1.07$  / Drehregler:  $M = 0.58$ ;  $SD = 1.04$ ). Bei der Priorisierung der Eingabeelemente wurde je nach Rang gewichtet (4 Punkte für eine Nennung an erster Stelle, drei Punkte für die Nennung an zweiter Stelle usw.) Hierbei ergab sich für beide Elemente dieselbe Reihenfolge (beginnenden mit der Präferenz): Keyboard (73 Schieberegler, 66 Drehregler), Tangible (62 Schieberegler, 65 Drehregler), Maus (56 Schieberegler, 56 Drehregler) und zuletzt Touch (49 Schieberegler, 53 Drehregler).

## 6. Diskussion und Ausblick

Unter dem Gesichtspunkt der „Reality-Based Interaction“ lassen sich einige der beobachteten Effekte und Wirkungszusammenhänge plausibel erklären. Die durch den NASA-TLX erhobenen höheren Werte für den Workload innerhalb der Dimension der körperlichen Anstrengung bei der Touch- und Tangiblebedingung gegenüber der Tastatur-

und Mausbedingung entsprechen den Erwartungen der eingangs beschriebenen Bedienkonzepte, welche unter spezieller Berücksichtigung der „Body Awareness and Skills“ sowie den Prinzipien der „Naive Physics“ [11] gestaltet wurden.

Während gemäß der „Reality-Based Interaction“ die Interaktionsqualitäten der realitätsbasierten Eingabeformen hoch sind, kann sich dies negativ auf die Bedieneffizienz, d. h. die hier betrachtete Stellzeit, auswirken. Allerdings stellt neben dieser auch die Einprägsamkeit der eingestellten Werte ein kritisches Merkmal bei der Arbeit in Leitwarten dar. Die dargelegten Ergebnisse der Studie zeigen, dass die Zeit, die für den Stellvorgang benötigt wird, mit den Ergebnissen des Recalltests d. h. der Einprägsamkeit korrelieren. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass eine sehr schnelle Eingabe, wie sie die Tastatur ermöglicht, dazu führt, dass die Werte nicht wahrgenommen werden. Dahingegen könnte eine sehr lange Einstelldauer das Einprägen der Zahlenwerte positiv beeinflussen. Mit dieser allerdings nur sehr schwachen Korrelation alleine lässt sich jedoch der Unterschied der Ergebnisse des Recalltests nicht erklären. So sind z. B. die Zeiten für die Eingabe von Werten mit der Tastatur deutlich niedriger als bei den anderen Bedingungen, die Recallwerte aber dennoch auf dem Niveau der Maus-, und Touchbedingungen. Im Gegensatz dazu wird mit den Tangibles ein deutlich besserer Recallwert erzielt als z. B. in der Touchbedingung und dies, obwohl sich die Stellzeiten nur geringfügig voneinander unterscheiden. Die Ergebnisse deuten somit darauf hin, dass die Einprägsamkeit positiv durch die Wahrnehmung des Stellvorgangs durch die Motorik und den Kraftaufwand auf Muskeln oder Gelenke, wie dies durch Tangibles erreicht wird, beeinflusst werden kann.

Hinsichtlich der subjektiven Präferenzen der Teilnehmer haben sich diese, unabhängig vom Bedienelement, zugunsten der beiden kritischen Dimensionen Zeit (Tastatur, Rang 1) und Einprägsamkeit (Tangible, Rang 2) entschieden. Insofern hängt die Wahl einer angemessenen Bedienbedingung von der jeweiligen Relevanz der sicherheitskritischen Dimensionen (Zeit/Einprägsamkeit) und daher auch stark von der Leitwartendomäne ab. In einem nächsten Schritt werden die vorgestellten Konzepte im Rahmen eines Taskszenarios im Kraftwerkskontext auf deren praktischen Anwendbarkeit untersucht werden.

## **Literatur**

- [1] Dourish, P. (2001). Where The Action Is: The Foundations of Embodied Interaction. Cambridge, MIT Press.

- [2] Hale, K. S., & Stanney, K. M. (2004). Deriving haptic design guidelines from human physiological, psycho-physical, and neurological foundations. In *IEEE Computer Graphics and Applications* 24, S. 33–39.
- [3] 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.
- [4] 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 *Extended Abstracts of CHI'07*, New York, ACM Press, S. 2465–2470.
- [5] 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.
- [6] Jetter, H. C., Geyer, F., Schwarz, T., Reiterer, H. (2012). Blended Interaction - Toward a Framework for the Design of Interactive Spaces. In *AVI '12 Conference on Advanced Visual Interfaces*, New York, ACM Press.
- [7] Perrow, C. (1984). *Normal Accidents: Living with High-Risk Technologies*. Basic Books
- [8] Rasmussen, J., Annelise, P., Goodstein, L. P. (1994). *Cognitive Systems Engineering*. Wiley Series in Systems Engineering. Hoboken, NJ, John Wiley & Sons.
- [9] Schwarz, T., Kehr, F., Oortmann, H., Reiterer, H. (2010). Die Leitwarte von heute verstehen - die Leitwarte von morgen gestalten! In *Mensch und Computer*. München, Oldenbourg, 2010, S. 93–102.
- [10] Schwarz, T., Heilig, M., Butscher, S., Mueller, J. , Reiterer, H. (2011). Die Gestaltung der Arbeitsumgebung von Operatoren (k-)ein Platz für Innovationen? In *Automation 2012*. Düsseldorf, VDI Verlag.
- [11] Stanney, K. M., Mollaghasemi, M., Reeves, L., Breaux, R., Graeber, D. A. (2003). Usability engineering of virtual environments (VEs): Identifying multiple criteria that drive effective VE system design. In *Human-Computer Studies* 58, S. 447–481.
- [12] Wickens, C. D., Lee, J., Liu Y. D. (2003). *Introduction to Human Factors Engineering*, 2nd ed. Newark, Prentice Hall.
- [13] Ziegeler, D. & Zühlke, D. (2004). Applications of Humanoid Avatars in Industrial Environments. In *IFAC/IFIP/IFORS/ IEA Symposium Analysis*. New York, IEEE Press, S. 1–6.