

Blickbewegungsmessung als Indikator für Zeitempfinden bei der Steuerung einer prozesstechnischen Simulation – Eine explorative Studie

DIRK SCHULZE-KISSING¹, RITA OLDENBOURG² & LEON URBAS¹

⁽¹⁾ *MoDyS Research Group, Zentrum Mensch-Maschine-Systeme, Technische Universität Berlin*

⁽²⁾ *Fachbereich 5, Carl von Ossietzky Universität Oldenburg*

Schlüsselwörter: zeitliche Informationsverarbeitung, komplexe Systeme, Fehlerdiagnose, Mikrowelten

1. Einleitung

Für die Dramaturgie in Filmen stellt die Dehnung von Zeit ein unverzichtbares Moment zur Erzeugung von Spannung dar. Prototypisch hierfür ist eine Situation, in der ein Zuschauer eine filmische Wettkampfszene erlebt. Zu Beginn befindet er sich in der Regel in der Mitte einer Menschenmenge, von der aus er den Start eines Rennens beobachten kann. Gut tritt gegen Böse an. Kaum ist das Startsignal gefallen befindet er sich auch bereits in einer wilden Kamerafahrt und kann auf der Höhe des Geschehens dramatische Szenen beobachten, in denen seine Heldin aufgrund des unfairen Verhaltens ihrer Konkurrentin immer wieder in Rückstand zu geraten droht. Dann wird in einigem Abstand das Ziel sichtbar. Es folgt ein Schnitt, nach dem er sich unter dem Publikum an der Ziellinie wiederfinden. Die Kamera ist nun auf den Punkt gerichtet, an dem die Wettstreiter jeden Moment im Bild erscheinen müssten. Es folgt eine Phase des Wartens ohne ein sichtbares Zeichen. Mit zunehmender Dauer beginnt für den Zuschauer eine Phase der Ungewissheit. Sobald die Dauer dieses Wartens den für die Realität gültigen Erwartungen widerspricht wird ihm diese Ungewissheit zur Gewissheit, dass sich zwischenzeitlich ein Unglück ereignet haben muss. Hier ist in der Regel der Zeitpunkt erreicht, an dem Regisseure ihre Figuren

wieder unbeschadet im Blickfeld der Kamera erscheinen lassen (am Ende siegt natürlich das Gute).

Eine grundlegende Voraussetzung dafür, dass eine solche Szene im Zuschauer ein Spannungserleben erzeugt, besteht offensichtlich darin, dass dieser während des Wartens an der Ziellinie in etwa die Dauer, welche etwa die Wettläufer benötigen, um im wahrgenommenen Tempo die abgeschätzte Strecke bis zum Ziel zurückzulegen, schätzt und vergleicht.

Auch ein Operateur in der chemischen Prozessführung erlebt bei der Steuerung der komplexen Anlagen häufig Situationen, in denen er zu warten hat. Und auch hier ist beobachtbar, dass er die Dauer von Prozessen schätzt. So zum Beispiel die Dauer, welche ein durch ein Rohrleitungssystem strömender Dampf benötigt, bevor er sich in einem Kondensator als Flüssigkeit niederschlägt. Die Projektgruppe MoDyS (unveröffentlichte Arbeit) konnte dies in einer Feldstudie lauten Denkens im Bereich der chemischen Prozessführung mit Hilfe der Videokonfrontationsmethode (vgl. Cara & Lagrande, 1999; Hamborg & Greif, 1998) belegen. Die Fähigkeit, Veränderungen in ihrer Dauer zu enkodieren und hieraus in ähnlichen Situationen eine Erwartung aufzubauen, ermöglicht einem erfahrenen Operateur, bei Nicht-Eintritt des erwarteten Ereignisses eine Störung im technischen System zu diagnostizieren. Ergebnisse psychologischer Untersuchungen zur Zeitwahrnehmung z.B. Zakay, Block & Tsal, 1996) legen jedoch die Vermutung nahe, dass ein Operateur eine erlernte Dauer unter bestimmten Situationsgegebenheiten nicht richtig zu erkennen in der Lage ist.

Die Eigenschaft eines Zeitabschnitts, den eine Person erfährt und beurteilt, sowie ihre Aktivitäten während dieses Zeitabschnitts beeinflussen die Wahrnehmung einer Dauer (van der Meer, im Druck). Bei der Steuerung komplexer technischer Systeme könnten Eigenschaften der Situation sowie nebenläufige Kontrollaktivitäten oder Inaktivität während des Wartens auf einen Prozessindikator die Leistung des Operateurs beim Abschätzen einer Prozessdauer beeinflussen. Dieser Effekt wird als zeitlicher Fehler (Decortis, de Keyser, Cacciabue & Volta, 1991) bezeichnet. Bei der Steuerung komplexer Systeme hängt die Richtung des zeitlichen Fehlers davon ab, ob es sich bei der zu schätzenden Dauer um ein leeres, um ein mit Information gefülltes oder um ein geteiltes Zeitintervall handelt (Decortis et al., 1991). So ist bei einem gefüllten Intervall die Überschätzung und bei einem leeren Intervall die Unterschätzung einer Dauer zu erwarten (Decortis et al., 1991; Zakay, 1993). Modelle, welche diesen Effekt auf der Ebene kognitiver Mechanismen zu erklären versuchen, finden sich bei Block & Zakay (1996).

Um diese Erkenntnisse auf die Steuerung komplexer Systeme übertragen zu können, muss eine weitere Frage beantwortet werden: Wie weit trauen wir unserem Zeitgefühl? Unsere Wahrnehmung einer Dauer muss nicht notwendigerweise unserer Beurteilung einer Dauer entsprechen. Uns sind die Effekte des zeitlichen Fehlers häufig bewusst. Das Wissen um die Täuschung, dass die Zeit schneller verstreicht, wenn viel zu tun ist und langsamer verstreicht, wenn nichts zu tun ist, ist jedem vertraut. Dieses Wissen nun könnte uns eine Strategie bei der Beurteilung einer Dauer verfolgen lassen, welche den Fehler bei der Zeitwahrnehmung kompensiert. Zum Beispiel könnten wir zur Beurteilung einer Dauer die wahrgenommene Dauer an der wahrgenommenen Beanspruchung während dieser Dauer relativieren. Es ist eine offene Frage, wie stark sich der Effekt des zeitlichen Fehlers auf die Beurteilung einer Dauer bei der zeitlichen Fehlerdiagnose wirklich niederschlägt.

Der Versuch, Antworten auf diese Frage mit Hilfe eines ökologisch validen Experiments zu finden, wurde unseres Wissens bisher noch nicht unternommen. Schulze-Kissing, Urbas, van der Meer & Leuchter (2002) führten daher eine experimentelle Untersuchung durch, in der die abhängige Variable zur Messung der subjektiven Zeitwahrnehmung einen integralen Bestandteil einer komplexeren Aufgabenstellung bildete. Die im Feld beobachtete Aufgabe, eine Fehlfunktion im technischen System aufgrund der Dauer einer Latenzphase zu identifizieren, wurde im Experiment unter verschiedenen Bedingungen bearbeitet. Bei der Steuerung eines prozesstechnischen Mikroweltsszenarios bestand die Aufgabe der Versuchsteilnehmer zum einen darin, einen Flüssigkeitspegel in einem Behälter über ein Ventil und einen Heizschalter zu steuern. Zum anderen waren die Versuchspersonen instruiert, ein Szenario abzubrechen, wenn sich 60 Sekunden nach Beginn in einem weiteren Behälter keine Flüssigkeitsbildung beobachten ließe. Die Versuchspersonen waren darüber hinaus aufgefordert, im Anschluss an jedes Szenario eine Dauer von 60 Sekunden zu produzieren.

Die Versuchsbedingungen variierten je nachdem, ob die zeitliche Aufgabe in der Schätzung eines leeren, eines geteilten oder eines gefüllten Intervalls bestand (vgl. Decortis et al., 1991). Operationalisiert wurde die Variation der Intervalleigenschaft über die Charakteristik der während dieser Phase zu bearbeitenden Pegelregulationsaufgabe, die bereits in Untersuchungen von Roth & Woods (1988) zum Einsatz kam. Ein leeres Intervall wurde dadurch erzeugt, dass sich bereits zu Beginn des Szenarios der Pegel im Verdampfer in einem stabilen Sollzustand und die Heizung sich bereits im aktivierten Zustand befand. Ein geteiltes Intervall wurde dadurch erzeugt, dass der Verdampferpegel durch Eingriffe am Ventil erst in den Sollbereich gesteuert werden musste, wobei nach kurzer Zeit ein stabiler Zustand des Pegels erzielt werden konnte (und von den Versuchsteilnehmern auch tatsächlich erzielt wurde). Ein gefülltes Intervall wurde dadurch erzeugt, dass der Verdampferpegel durch Eingriffe am Ventil in den Sollbereich gesteuert werden musste, wobei sich jedoch kein stabiler Zustand einstellte und der Pegel somit über das gesamte Intervall hinweg durch wiederholtes Eingreifen im Sollbereich gehalten werden musste.

Erwartet wurde, dass sich vom leeren über das geteilte zum gefüllten Intervall der Beginn der Erwartung des kritischen Ereignisses zunehmend verzögert. Es konnte zwar ein Effekt der Aktivität während eines Intervalls auf die Abbruchzeiten, als Operationalisierung der Beurteilung einer Dauer, nachgewiesen werden. Dieser entsprach jedoch nicht eindeutig den Annahmen zum zeitlichen Fehler. Schulze-Kissing et al. (2002) konnten außerdem feststellen, dass die Dauer bis zum Abbruch eines Szenarios im Vergleich zur anschließenden Produktion eines leeren Intervalls deutlich länger ausfiel. Zur Klärung der Frage, ob dieser Unterschied alleinig auf zusätzliche Informationsverarbeitungsprozesse zurückzuführen ist oder ob zumindest ein Teil dieses Unterschiedes auch auf einen unterschiedlichen Verlauf im Aufbau einer Repräsentation von Dauer zurückzuführen ist, wurde nach weiteren Abhängigen Variablen gesucht.

2. Fragestellung

Um subjektive Zeitwahrnehmung experimentell zu prüfen, muss sie über Zeitschätzverhalten beobachtbar gemacht werden. Gängige Methoden der Zeitpsychologie sind die Erhebung von Latenzzeiten und Fehlerhäufigkeiten bei der Reproduktion eines kurz zuvor erlebten Intervalls oder die Produktion eines erlernten Intervalls. Im Kon-

text einer komplexen Aufgabenbearbeitung erweisen sich die gängigen Messindikatoren der Experimentalpsychologie, Fehlerhäufigkeiten und Latenzzeiten, zwar als notwendig, jedoch nicht als hinreichend für die Erfassung der dem Timing von Verhalten zugrunde liegenden kognitiven Aktivitäten. So wurde beispielsweise mit der Untersuchung von Schulze-Kissing et al. (2002), in der die Zeiten bis zu einem Abbruch gemessen wurden, noch nicht geprüft, wann eine Versuchsperson das kritische Ereignis zu erwarten begann.

In der hier vorgestellten explorativen Untersuchung sollte daher der Frage nachgegangen werden, ob die Messung von subjektivem Zeitempfinden über die Erhebung von Blickbewegungen im Kontext einer Aufgabenbearbeitung gelingen kann. Es sollte zum einen die Operationalisierbarkeit der Erwartung eines Ereignisses aufgrund eines zeitlichen Kriteriums über Blickbewegungsmessung geprüft werden. Außerdem sollte die Studie Hinweise auf typische Verläufe in der Verteilung von Aufmerksamkeit auf die im Versuch parallel zu bearbeitenden Aufgaben liefern. Hierzu wurde die Untersuchung von Schulze-Kissing et al. (2002) unter Einsatz der Blickbewegungsmesstechnik repliziert.

3. Versuchspersonen

An der explorativen Studie nahmen drei weibliche Versuchspersonen und eine männliche Versuchsperson teil. Zwei der weiblichen Versuchspersonen waren Studierende der Psychologie an der TU Berlin. Die zwei weiteren waren Studierende nicht ingenieurwissenschaftlicher Fachrichtungen anderer Berliner Universitäten. Die Versuchspersonen erhielten für ihre Teilnahme entweder Versuchspersonenstunden oder €8,25 Bargeld.

4. Material

In der Simulation wird der Transport einer Flüssigkeit und der Transport eines Gases simuliert. Für die Simulation wurde das bildhafte Anlagenschema mit einer symbolhaften Darstellung von Steuerungselementen und einer analogen Darstellung von Behältern und Rohrleitungen aus dem in der Industrie eingesetzten Prozessleitsystem der Firma Freelance übernommen (siehe Abb. 1). Die Simulation weist jedoch weniger animierte und interaktive Elemente auf als ein reales System. Auf einem Bildschirm dargestellt werden drei Behälter, vermittelnde Rohrleitungen, drei Steuerungselemente sowie zwei numerische Anzeigen. Die Behälter werden als Kolonne (Abb. 1, Element B), Verdampfer (Abb. 1, Element A) und Kondensator (Abb. 1, Element C) bezeichnet. In einer realen Anlage dient die Kolonne dem chemischen Austausch von Stoffen. Der Verdampfer besitzt die Funktion, Flüssigkeit zu speichern und diese durch Erhitzen in einen gasförmigen Aggregatzustand umzuwandeln. Der Kondensator dient der Funktion, den im Verdampfer erzeugten Dampf durch Abkühlung wieder in Flüssigkeit umzuwandeln und zu speichern. Durch die Darstellung einer blauen Fläche ist die aktuelle Flüssigkeitsmenge in der Verdampfer- und im Kondensatorabbildung für die Versuchspersonen grafisch ablesbar. Da die Kolonne in der zu bearbeitenden Mikroweltaufgabe lediglich die vom Dampf zurückzulegende Strecke zwischen Verdampfer und Kondensator darstellt, ist in der betreffenden Abbildung kein Flüssigkeitspegel animiert.

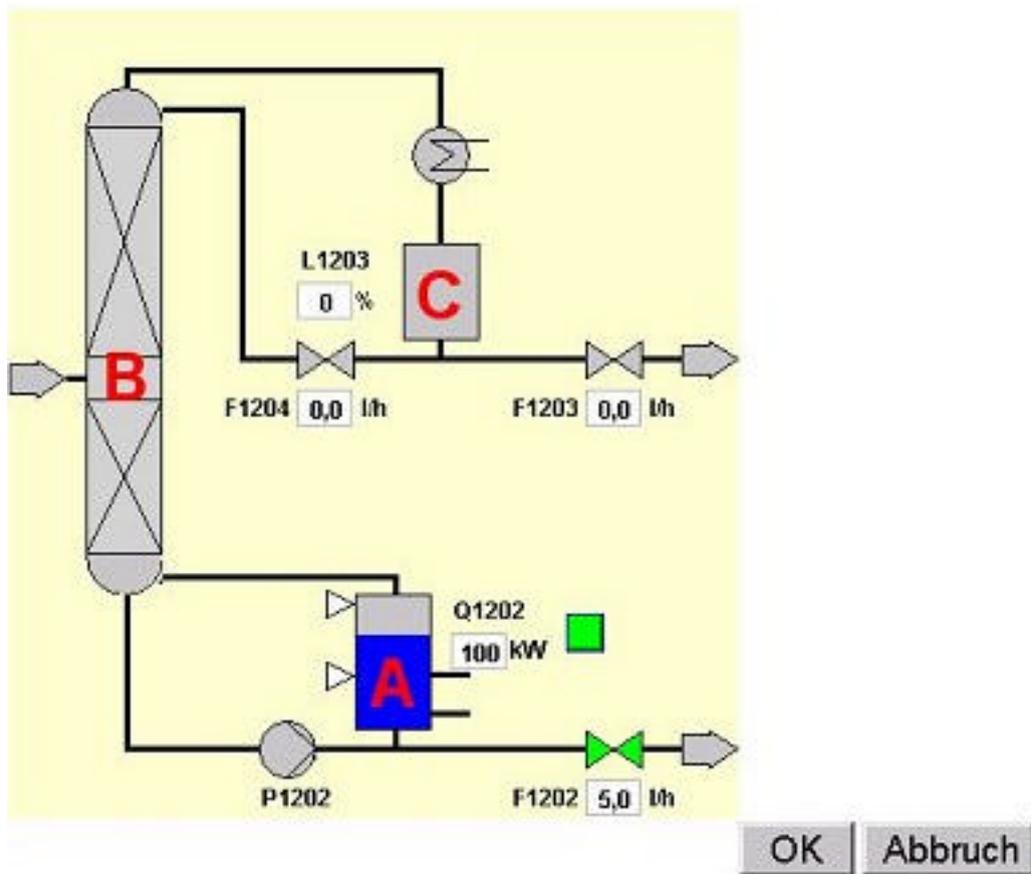


Abbildung 1: Die von den Versuchsteilnehmern zu steuernde Mikrowelt

Die zwei interaktive Steuerungselemente symbolisieren ein Ventil (Abb. 1, grünes Doppeldreieck) und einen Heizungsschalter (Abb. 1, grünes Quadrat). Das Ventil kann per Maus-Klick auf dem Bildschirm in einen geöffneten oder einen geschlossenen Zustand versetzt werden. Der Heizungsschalter kann per Mausklick ein- oder ausgeschaltet werden.

Über das Ventil wird eine Ablaufrohrleitung geöffnet oder geschlossen. Hierüber kann gesteuert werden, welcher Anteil am Gesamtstrom einer Flüssigkeit aus einem Zulaufbehälter in den Verdampfer-Behälter fließt. Bei geschlossenem Ventil wird dem Verdampfer-Behälter die gesamte Flüssigkeitsmenge zugeführt. Sobald das Ventil geöffnet ist läuft ein Teil dieses Flüssigkeitsstroms ab. Die Wirkungsweise des Ventils im geöffneten Zustand ist konstant und kann nicht variiert werden. Den Zustand des Ventils zeigt die Färbung des entsprechenden Steuerelementes an. Die aktuelle Flüssigkeitsmenge im Verdampfer-Behälter ist grafisch als blaue Fläche im Verdampferbild dargestellt. Diese Darstellung wird alle 660ms aktualisiert. Zwei farblose Dreiecke am Rand des Elements zeigen die Minimal- und Maximalgrenzen für den Pegel an. Entspricht der aktuelle Füllstand im Verdampferbehälter nicht diesen Vorgaben, so färbt sich das betreffende Dreieck rot ein. Die Heizung im Verdampfer kann nur ein- oder ausgeschaltet, aber nicht variiert werden. Den Zustand der Heizung zeigt die Färbung des entsprechenden Steuerelementes an. Entsprechend den realen Verhältnissen tritt nach Aktivierung der Heizung deren reduzierende Wirkung auf den Flüssigkeitspegel im Verdampfer mit einer zeitlichen Verzögerung von einigen Sekunden auf. Der Heizschalter zeigt ein besonderes Verhalten in Situationen, in denen sich der Flüssigkeitspegel im Verdampfer unterhalb der vorgeschriebe-

nen Minimalgrenze befindet. In diesem Fall versetzt sich dieses Steuerelement automatisch in den ausgeschalteten Zustand und kann erst wieder aktiviert werden, wenn sich der Pegel wieder im Sollbereich befindet.

In einer realen Anlage hat der Verdampfungsprozess Auswirkungen auf die Bildung von Flüssigkeit im Kondensator-Behälter. Für die Untersuchung wurde die Bildung von Flüssigkeit im Kondensator-Behälter jedoch nicht in Abhängigkeit von den Prozessen im Verdampfer simuliert, damit zu einem fixen Zeitpunkt nach Simulationsstart eine Flüssigkeitsbildung unabhängig von den simulierten Prozessen im Verdampferbehälter angezeigt werden konnte.

Als zusätzliche Elemente, welche in dieser Funktion in industriellen Anlagen in dieser Form keine Entsprechung finden, sind außerhalb des bildhaften Schemas der Anlage ein mit „Ok“ und ein mit „Abbruch“ (siehe Abb. 1) beschriftetes Feld dargestellt, über welche ein Versuchsteilnehmer per Mausklick eine Entscheidung über den Zustand der simulierten Anlage abgeben kann.

5. Versuchsplan

Für die explorative Untersuchung wurde ein kompletter Messwiederholungs-Versuchsplan verwendet. Jeder Teilnehmer bearbeitete je zwei Szenarien unter den Bedingungen „leeres Intervall“ „geteiltes Intervall“ und „gefülltes Intervall“. Die Hälfte aller Szenarien musste entsprechend der instruierten Aufgabe von den Versuchsteilnehmern nach einer Minute abgebrochen werden, da keine Flüssigkeitsbildung zu beobachten war. Durch diese zusätzliche Variation des Szenarienvorganges ergab sich eine 3 (nichtzeitliche Aufgabe) x 2 (Intervalltyp) Messwiederholungsuntersuchung. Jeder der Teilnehmer lieferte somit Blickbewegungsdaten für jede der sechs Faktorstufenkombinationen. Um Reihenfolgeeffekte, wie Effekte von Ermüdung oder Lernen nicht in die Auswertung mit eingehen zu lassen, wurde die Darbietungsfolge teilrandomisiert.

Es wurde exploriert, ob der Zeitpunkt der ersten Fixation des Kondensators (nach einer Phase der Orientierung auf dem Bildschirm) als Operationalisierung des ersten Moments der Erwartung der Flüssigkeit geeignet ist. Weiterhin wurde der Verlauf der Objektfixationen über die Zeit als abhängige Variable explorativ ausgewertet. Die Zuordnung von Fixationsdaten zu den Teilaufgaben wurde bewerkstelligt, indem, neben der Fläche des Kondensator-Behälters, weitere für die Bearbeitung der Aufgabe wichtige Objekte auf dem Bildschirm (diese sind Verdampfer; Ventilschalter zur Steuerung des Verdampferpegels und Heizschalter, sowie Schalter für den Abbruch eines Szenarios) für die automatische Auswertung der Blickbewegungsdaten definiert wurden.

6. Apparate

Für die Durchführung der Blickbewegungsmessung wurde das iView System von *SensoMotoric Instruments* eingesetzt, mit der eine automatische Auswertung von Blicken auf definierte Objekte (Flächen) möglich ist. Die Anlage umfasst die erforderliche Software auf dem Versuchsleiter-Rechner, einen Helm mit Augen- und Blickfeldkamera, einen sog. *Polhemus*, über den die Kopfbewegungen des Helmträgers erfasst werden und einen Laserstab, zur Ausmessung des Bildschirms und der

hierauf dargestellten, interessierenden Objekte. Drei verschiedene Softwareprogramme kamen zum Einsatz: *Surveyor* für die Definition der Ebene des Bildschirms im dreidimensionalen Raum, *iView for Windows* für die Messung, das Speichern und die automatische Analyse der Blickbewegungen und *HE Visual* zur Darstellung der aktuellen Blickbewegungen auf dem Bildschirm der Versuchsleiterin. Durch den Einsatz des *Polhemus*-Systems konnte auf eine Fixierung des Kopfes der Versuchspersonen verzichtet werden.

7. Durchführung

Das Experiment fand im Labor des ZMMS in Einzelversuchen statt. Während die Versuchsperson an einem Rechner die Simulationsaufgabe bearbeitete, kontrollierte die Versuchsleiterin die Aufnahme der Blickbewegungsdaten auf einem weiteren Bildschirm, der sich ebenfalls im Versuchsraum befand.

Eine Online-Einführung in die Simulation und drei Trainingsdurchgänge wurden ohne Blickbewegungsmessung durchgeführt. Anschließend wurde der Helm aufgesetzt und die Kalibrierung durchgeführt, bei der die Kamera zur Messung der Blickbewegungen an die jeweilige Versuchsperson angepasst wurde. Danach begann der eigentliche Versuch mit den sechs Szenarien.

Nach jedem Szenario produzierte die Versuchsperson ein Zeitintervall von einer Minute. Dann folgte das nächste Szenario. Nach drei der insgesamt sechs Szenarien legten die Versuchspersonen eine kurze Pause ein. Für den soziodemografischen Fragebogen wurde der Helm wieder abgesetzt. Die Versuchspersonen waren verbal instruiert worden, dass sie während eines Szenarios den Blick vom Bildschirm auch abwenden könnten. Hierdurch sollte ein natürliches Blickverhalten gefördert werden. Da noch keine technische Möglichkeit bestand, die Simulation direkt mit der Blickbewegungsmessung zu verschalten, wurde die Aufnahme der Blickbewegungsmessung mit Beginn eines Szenarios durch den Versuchsleiter per Hand gestartet und mit dessen Abbruch (oder Quittieren) wieder gestoppt.

8. Ergebnisse

In die Auswertung gingen lediglich Messungen von Fixationen ein, welche als mindestens für 60 ms auf einem Punkt des Bildschirms ruhende Blicke definiert wurden. An einer von *iView for Windows* automatisch erzeugten Matrix (siehe Abb. 2 und 3), in welcher die Fixationen dem jeweiligen Objekt auf einem Zeitstrahl zugeordnet sind, konnte abgelesen werden, zu welchem Zeitpunkt der Szenarienbearbeitung und für welche Dauer eine Versuchsperson ein Objekt beachtete. Diese Darstellungen des Fixationsverlaufs für die einzelnen Versuchspersonen über sämtliche Szenarien bildete die Grundlage für die explorative Auswertung der Ergebnisse dieser Studie.

Mit den Daten von jeweils sechs Szenarien bei vier Versuchspersonen umfasst das explorative Datenmaterial insgesamt 24 Szenarien. Im Schnitt aller 24 Szenarien wurde der Verdampfer für 45 % der Gesamtdauer angesehen. Fasst man die Objekte der nicht-zeitlichen Aufgabe (Verdampfer und Schalter) und die Objekte für die zeitliche Aufgabe (Kondensator und Quittierungsfelder) zusammen, so band die nicht-

zeitliche Aufgabe die visuelle Aufmerksamkeit für über 53 % der Bearbeitungszeit. Auf die Bearbeitung der zeitlichen Aufgabe wurde 18 % der Zeit verwandt.

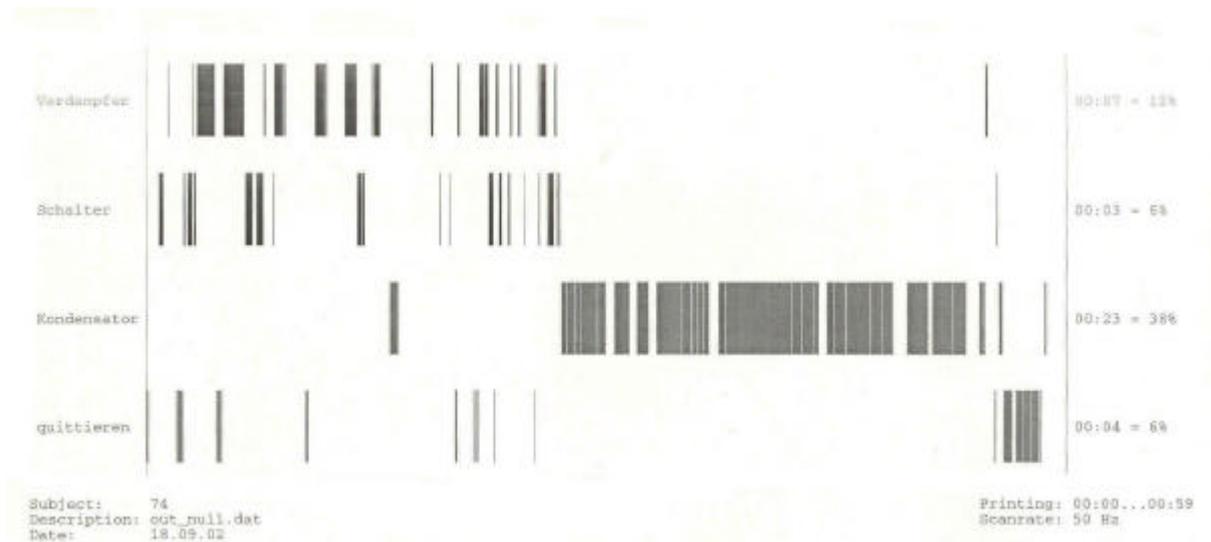


Abbildung 2: Exemplarischer Blickbewegungsverlauf unter der Bedingung eines leeren Intervalls (VP74)

Zur Frage der Operationalisierbarkeit des ersten Moments der Erwartung der Flüssigkeit über den Zeitpunkt der ersten Fixation des Kondensatorbehälters lassen sich folgende Ergebnisse berichten. Es sei vorweg betont, dass bei der explorativen Auswertung der Daten nach Plausibilitätskriterien vorgegangen wurde. So konnte eine Festlegung der Grenze zwischen Fixationen, die noch der Orientierungsphase zuzuordnen waren und der ersten Fixation, in der sich eine Erwartung ausdrückt, nicht nach objektiven Kriterien festgelegt werden. Um zu zumindest unter Vorbehalt interpretierbaren Ergebnissen zu gelangen, wurde die Erwartung daher nachträglich über Verdichtungen von Fixationshäufigkeiten operationalisiert (vgl. Abb. 2 und 3). Diese Einschränkungen vorausgesetzt, lässt sich feststellen, dass in Abbruchszenarien eine Erhöhung der Fixationsdichte durchschnittlich ca. 30 Sekunden nach Beginn eines Szenarios zu beobachten war. Ein Abbruch erfolgte durchschnittlich ca. 90 Sekunden nach Szenarienstart. Die Bedingungen, unter denen dieser Abbruch erfolgte, lassen aufgrund dieser Messungen keinen Zusammenhang zum Zeitpunkt des Abbruchs erkennen. So brachen die Versuchspersonen in einem leeren Intervall ca. 90, in einem geteilten Intervall ca. 80 und in einem gefüllten Intervall ca. 110 Sekunden nach Szenarienbeginn ab. Dem entsprachen eine erhöhte Kondensatorfixationsdichte bei 23 (leeres Intervall), 34 (geteiltes Intervall) und 33 Sekunden (gefülltes Intervall). Die geringste Latenzdauer bis zur Fixation des Kondensators unter der Bedingung eines leeren Intervalls lässt sich möglicherweise auf Langeweile zurückführen. Der prozentuale Fixationsanteil auf den Kondensator von 3 % (n=3) unter der Bedingung eines leeren Intervalls lässt auf eine erhöhte Verarbeitung zeitlicher Information im Vergleich zu Bedingungen eines geteilten oder gefüllten Intervalls (jeweils ca. 6%) spekulieren.

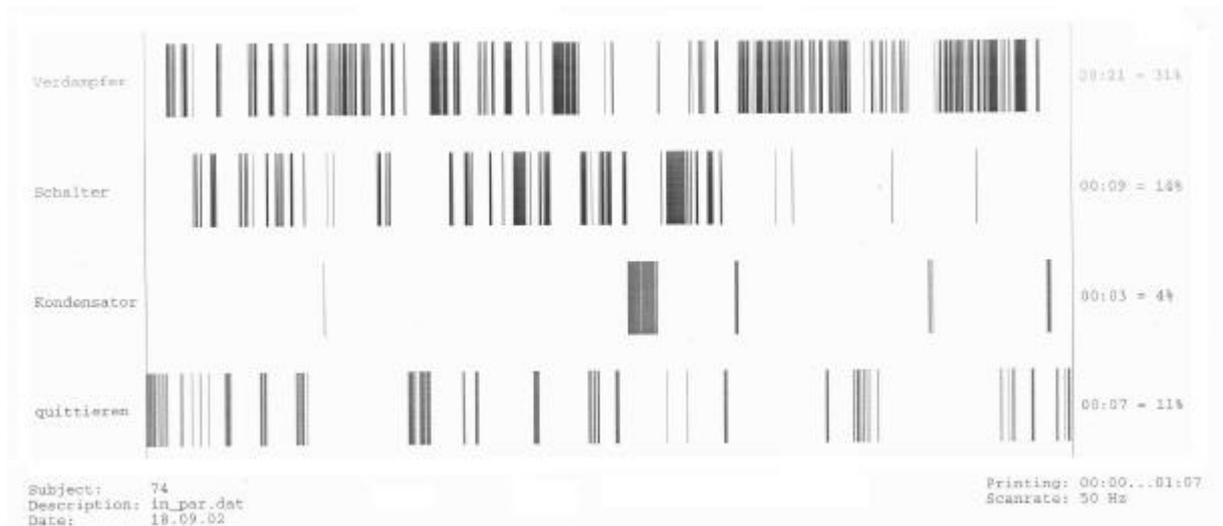


Abbildung 3: Exemplarischer Blickbewegungsverlauf unter der Bedingung eines gefüllten Intervalls (VP74)

In 10 von insgesamt 24 Szenarien lässt sich für die Fixationen des Kondensators ein idealtypischer Verlauf erkennen, der aus drei Phasen besteht. In der ersten Phase findet ein der Orientierung dienendes Scannen statt, bei dem in kurzer Abfolge Fixationen auf die verschiedenen Objekte fallen. Die zweite Phase beginnt mit einer ersten Fixation des Kondensator-Behälters, die sich im weiteren Verlauf in niedriger Frequenz wiederholt. In der dritten Phase erhöht sich die Frequenz der Fixationen, die auf den Kondensator fallen. Kurz darauf wird das Szenario abgebrochen. Über die Zeit hinweg lässt sich eine Zunahme der Fixationen des Kondensators beobachten. Über die 14 Szenarien, welche nicht diesen idealtypischen Verlauf aufwiesen, lässt sich berichten, dass der Zeitpunkt der ersten Fixation des Kondensators inter- und intraindividuelle stark variierte. Oftmals wurde der Kondensator bereits nach wenigen Sekunden regelmäßig fixiert.

In 17 von 24 Szenariendurchgängen werden der Verdampfer, das Ventil und der Heizungsschalter während des gesamten Szenarios wiederholt fixiert. In nur 2 von 24 Szenariendurchgängen werden Verdampfer und Ventil/Schalter im Verlauf des Szenarios deutlich seltener angesehen. Es handelt sich hierbei um die letzten beiden Durchgänge einer einzelnen Versuchsperson (vgl. Abb. 2 und Abb. 3). In 20 von 24 Szenarien lässt sich zum Ende eines Szenarios eine Phase erhöhte Fixationshäufigkeit auf dem Quittierungsfeld beobachten.

9. Diskussion

Der Anteil der Fixationsdauer auf die Objekte an der gesamten Versuchsdauer legt nahe, dass mit der Definition der Objekte, welche nur einen geringen Anteil der Fläche des Gesamtbildschirmes ausmachten, die bei der Szenarienbearbeitung aufmerksamkeitsbindenden Simulationselemente identifiziert und die tatsächlichen Blickbewegungsabläufe weitgehend erfasst werden konnten. Die gemessene Verteilung der Fixationshäufigkeiten über die Zeit auf die den einzelnen Aufgaben zuzuordnenden Simulationselemente ist aufgrund der Aufgabenlogik plausibel. So war zu erwarten, dass die der zeitlichen Aufgabe zugeordneten Elemente erst in späteren Phasen der Simulationsbearbeitung mehr visuelle Aufmerksamkeit auf sich ziehen. Die allge-

meine Zunahme der Fixationen des Kondensators weist auf eine Aufmerksamkeitsverschiebung von der nichtzeitlichen zur zeitlichen Aufgabe hin.

Die Feststellung sehr früher Fixationen auf den Kondensator lässt annehmen, dass hier die Verarbeitung zeitlicher Information nicht verhaltensbestimmend war. Es ist ein noch zu lösendes Problem, hier ein Kriterium zu finden, um diese frühen Fixationen von Fixationen, in denen sich die Erwartung eines Ereignisses aufgrund einer verstrichenen Dauer äußert, zu unterscheiden,.

In den abgebildeten Werten der Versuchsperson VP74 (vgl. Abb. 2 und 3) zeigt sich ein Wechsel der Bearbeitungsstrategie im Verlauf der Untersuchung von einer parallelen zu einer sequenziellen Abarbeitung der Teilaufgaben.

Als Gründe, welche dazu geführt haben könnten, dass 14 Szenarien nicht dem idealtypischen Verlauf der Blickbewegungen aufwiesen, lassen sich zum einen in der Instruktion, den Blick frei schweifen zu lassen, vermuten. Diese könnte durch die Instruktion, den Blick bei Nichtbeschäftigung mit einer der zwei Teilaufgaben auf einen vorgegebenen, bedeutungslosen Punkt zu fixieren, ersetzt werden. Ein anderer möglicher Grund könnte darin bestehen, dass die auf dem Bildschirm dargebotenen Elemente räumlich so dicht beieinander lagen, dass bei Fixation des Verdampfer-Behälters die Information zum Pegelstand im Kondensator-Behälter peripher mit verarbeitet werden konnte, so dass die Kontrolle des Kondensatorpegels in einigen Fällen nicht durch eine Fixation angezeigt wurde.

Ein weiteres Ergebnis der Erkundungsstudie ist die Feststellung, dass der nichtzeitlichen Aufgabe auch bei Erreichen des stabilen Zielzustandes des Flüssigkeitspegels weiterhin Aufmerksamkeitsressourcen zugewiesen wurden. Die Versuchspersonen scheinen den tatsächlich nichtdynamischen Zustand der Simulation als den weiterhin potenziell kritischen Zustand eines dynamischen Gleichgewichts interpretiert zu haben, auf den man weiterhin „ein Auge werfen“ muss (mit Ausnahme der letzten Durchgänge von VP74). Aufgrund dieser Überwachungsaktivität wurde somit unter der Bedingung eines stabilen Verdampferpegels kein wirklich leeres Intervall erzeugt.

10. Ausblick

Die Erkundungsstudie lieferte Hinweise, dass eine Operationalisierung des subjektiven Zeitempfindens durch Blickbewegungsmessungen sinnvoll sein kann. Die hier gewählte Umsetzung der Operationalisierung von zeitlicher Informationsverarbeitung erfordert jedoch zuvor die Umsetzung der diskutierten und möglicherweise noch weiterer Modifikationen, um als abhängige Variable für eine quantitative experimentelle Untersuchung zum Einsatz kommen zu können.

Es zeigte sich außerdem, dass mit der Definition sämtlicher aufgabenrelevanter Objekte zusätzlich Information über den Verlauf der Aufmerksamkeitsverteilung bei der Bearbeitung der gestellten Doppelaufgabe erhoben werden kann. So ließe sich möglicherweise der Prozess der Entscheidung über einen Abbruch an der Fixation der Quittierungsschalter sichtbar machen. Mit Hilfe der Erhebung von Blickbewegungsdaten ließen sich in weiteren Untersuchungen außerdem individuelle Strategien oder ein interindividuell gültiger Verlauf des Informationsverarbeitungsprozesses bei der Bearbeitung der Aufgabenstellung identifizieren.

11. Quellen

- Block, R. A. & Zakay, D. (1996). Models of Psychological Time Revisited. In H. Helfrich (Hrsg.), *Time and Mind. Proceedings of the International Symposium on Time and Mind held in Dec. 1994 at the University of Regensburg* (S. 171-195). Seattle; Toronto; Göttingen; Bern: Hogrefe & Huber Publishers.
- Cara, F. & Lagrange, V. (1999). Emerging expertise in process control. *Ergonomics*, 42, 11, 1418-1430.
- Decortis, F., de Keyser, V., Cacciabue, P. C., & Volta, G. (1991). The Temporal Dimension of Man-Machine Interaction. In G. R. S. Weir and J. L. Alty (Hrsg.), *Human-computer interaction and complex systems* (S. 51-72). London, UK: Academic Press.
- Hamborg, K.-C. & Greif, S. (1998). Heterarchische Aufgabenanalyse (HAA). In H. Dunkel (Ed.), *Handbuch psychologischer Arbeitsanalyseverfahren* (pp. 147-177). Zürich: vdf Hochschulverlag.
- Roth, E. M. & Woods, D. D. (1988). Aiding Human Performance I. Cognitive Analysis. *Le Travail Humain*, 51, 39-64.
- Schulze-Kissing, D., Urbas, L., van der Meer, E. & Leuchter, S. (2002): Der Einfluss kognitiver Beanspruchung auf zeitgesteuertes Verhalten in Mensch-Maschine-Systemen. In E. van der Meer, H. Hagedorf, R. Beyer, F. Krüger, A. Nuthmann, S. Schulz (Hrsg.), *43. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psychologie. Humboldt Universität zu Berlin: 22.-26. September 2002. Programm, Abstracts.* (p. 136-137; TS0231). Lengerich: Pabst.
- Van der Meer, E. (in Druck). Psychological Time: Empirical Evidence, Theories, Aging Affects. In J. Baars & H. Visser (Hrsg.), *Concepts of Time in the Study of Aging: An Interdisciplinary Exploration*. New York: Springer.
- Zakay, D. (1993). Time Estimation Methods: Do They Influence Prospective Duration Estimate? *Perception*, 22, 91-101.
- Zakay, D., Block, R. A. & Tsal, Y. (1999). Prospective Duration Estimation and Performance. In D. Gopher and A. Koriat (Ed.), *Attention and Performance* (Vol. XVII, pp. 557-580). Cambridge, MA: MIT Press.