

Aufmerksamkeitssteuerung durch Haptische Schnittstellen in Beobachtungsaufgaben

Leon Huck*

Karlsruher Institut für Technologie

Zusammenfassung. In dieser Arbeit wird der Einsatzbereich der Aufmerksamkeitssteuerung durch haptische Schnittstellen in Beobachtungstätigkeiten erkundet. Aufmerksamkeitssteuerung wird als eine Ressource definiert, die es zu verwalten gilt. Für Beobachtungsaufgaben werden die Kriterien Relevanz und Erschöpfung als entscheidend vorgestellt. Die haptischen Schnittstellen werden nach ihrer Reizübertragung (Elektrische Impulse oder Druck) unterschieden. Dabei lassen sich Charakteristike, wie die Position auf der Haut, die Berührungsfläche und die Dauer, erkennen. Bei den Anwendungen wird zwischen dem jeweiligen Einsatzbereich unterschieden:

- Sinneswiederherstellung: Simulation anderer Sinne über haptische Signale.
- Zwischenmenschliche Kommunikation: Informationsübertragung über haptische Signale, um die Kommunikation zwischen Menschen zu ermöglichen und zu verbessern.
- Leistungssteigerung: Verbesserung von menschlichen Leistungen durch den Einsatz von haptischen Schnittstellen zur Informationsübertragung.
- Erweiterung des Wahrnehmungsspektrums: Verwenden von haptischen Schnittstellen um künstliche Sinne zu erzeugen.
- Zuverlässigkeit Erzeugung: Erweiterung von bereits bestehenden Systemen mit redundanten haptischen Schnittstellen.

* Unter der Betreuung von: Erik Pescara

1 Einleitung

Seit der Einführung von Geräten, wie etwa Handies, sind Aufmerksamkeitshinweise durch Vibrationen im Alltag angekommen. So kann das Handy auch in lauten Umgebungen auf neue Mitteilungen aufmerksam machen. Gleichzeitig werden die Mitmenschen nicht durch durchdringende Töne gestört.

Doch bieten haptische Informationen auch außerhalb von einem einfachen Alarmsystem, wie es im besagten Handy zu finden ist, eine Vielzahl an Möglichkeiten zur Informationsübermittlung (vgl. [1]). Diese Möglichkeiten zu untersuchen ist Ziel dieser Arbeit.

Um das Ziel zu erreichen werden Definitionen für Aufmerksamkeitssteuerung und Überwachungsaufgaben eingeführt um anschließend deren Schnittmenge zu betrachten. Dabei werden die Teilbereiche anhand von konkreten Anwendungen erarbeitet und die allgemeinen Erkenntnisse herausgezogen. Dadurch soll der Stand der Wissenschaft festgehalten und potentielle Forschungsfragen aufgedeckt werden.

2 Die Thematischen Teilgebiete

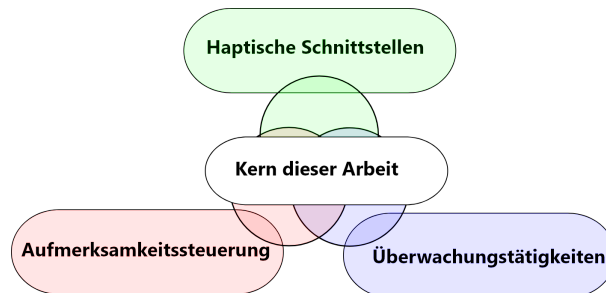


Abb. 1. Graphische Darstellung der Teilgebiete und deren Interaktion anhand eines Venn-Diagramm.

Um eine Diskussion über die möglichen Anwendungen von haptischen Schnittstellen bei der Aufmerksamkeitsbeeinflussung während Beobachtungsaufgaben zu führen ist es unerlässlich die Themenbereiche genau abzugrenzen. Der Grund hierfür ist die Mehrfachverwendung der einzelnen Begriffe. Demzufolge werden die in verwendeten Definitionen vorgestellt.

2.1 Aufmerksamkeitssteuerung

Die menschliche Arbeitskraft ist begrenzt. Das gilt insbesondere für die kognitiven Fähigkeiten eines Menschen. Jede Aktion die ausgeführt oder durchdacht

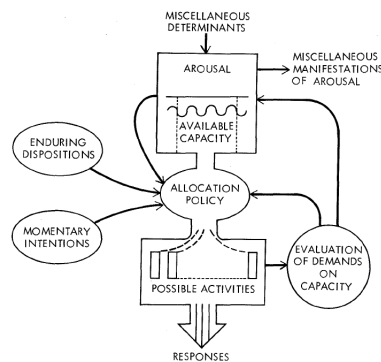


FIGURE 1-2
A capacity model for attention.

Abb. 2. Das Zusammenwirken von Aufmerksamkeit und dem Erregungszustand eines Menschen zur Bildung einer Entscheidung[2].

werden soll verbraucht Energie und Zeit. Bereits vermeidlich einfache Aktionen benötigen diese beiden Ressourcen. Deshalb muss es einen Mechanismus beziehungsweise eine Handlungsvorschrift geben, nach der die Ressourcen auf die unterschiedlichen Aufgaben verteilt werden. Diese Vorschrift heißt Aufmerksamkeit. Daniel Kahneman [2] beschreibt unterschiedliche Eigenschaften der Aufmerksamkeit.

Selektierungs-Eigenschaft der Aufmerksamkeit Alle Organismen, und somit auch Menschen, müssen unterscheiden, welche Stimulationen wichtig und welche unwichtig sind. Werden zwei Berührungen gleichzeitig wahrgenommen muss entschieden werden, welche Information Priorität hat. Geschieht dies nicht können unerwünschte Konsequenzen folgen. So muss in kürze entschieden werden, ob eine juckende Stelle nur ein unbedeutendes Haar oder ein giftiges Insekt ist. Diese Unterscheidungen benötigen ebenfalls Aufmerksamkeit.

Intensitäts-Eigenschaft der Aufmerksamkeit Die Aufmerksamkeit ist nicht entweder vorhanden oder nicht vorhanden. Sie bewegt sich auf einem Spektrum. Kahneman[2] führt hierfür das Beispiel eines Schülers an, der dem Unterricht folgt. Es gibt für den Schüler nicht die Möglichkeit seine vollständige Aufmerksamkeit auf den Unterricht zu lenken. Täte er dies hätte er keine Möglichkeiten mehr auf Änderungen in seiner Umgebung zu reagieren. Auch könnte er nicht entscheiden, wann es sinnvoll wäre, eine andere Aufgabe zu beginnen. Gleichzeitig kann er nicht dem Unterricht vollständig ignorant begegnen. Wenn er dies könnte müsste er gleichzeitig in der Lage sein seine Umgebung auszublenden. Dies wäre vergleichbar mit einem Ohnmachtsähnlichen Zustand. Somit ist bei der Aufmerksamkeitssteuerung die Menge an Aufmerksamkeit, die einer Aufgabe zugeschrieben werden soll zu berücksichtigen. Wird einer Aufgabe zu viel Aufmerksamkeit zugeordnet, fehlen eventuell die Ressourcen bei einer dringlicheren

Aufgabe. Wird einer Aufgabe zu wenig Aufmerksamkeit zugeordnet, kann diese eventuell nicht oder nur zu langsam erfüllt werden.

Die Aufmerksamkeit wird in dieser Arbeit als menschliche Ressource aufgefasst, deren Verteilung es zu steuern gilt. Somit werden beispielsweise die Bereiche "Aspekte der Intensität" [2] und "Erregung" [2] ignoriert.

Eine Steuerung wird immer dann erreicht, wenn ein Stimulus verwendet wird, der die Aufmerksamkeit, eines Menschen, zu der gewünschten Information leitet. Diese Aufmerksamkeitssteuerung kann über jeden Sinn erfolgen. Beispiele wären das Ansprechen eines Menschen mit dem Namen und das Einblenden eines Warnsymbols im Auto. Vorweggreifend soll hier auch eine Anwendung, wie die Handyvibration nicht unerwähnt bleiben.

2.2 Überwachungsaufgaben

Überwachungsaufgaben fordern von dem Aufgaben-Ausführer, dass er über einen längeren Zeitraum Informationen aufnimmt und überwacht. Überwachen heißt dabei, dass der Aufgaben-Ausführer möglichst schnell auf Veränderungen reagieren kann. Ein Beispiel hierfür wäre ein Sicherheitsbeauftragter, der Überwachungsmonitore überprüft. Angenommen die Überwachung findet Nachts statt. Auszeichnendes Merkmal der Überwachungsaufgabe ist, in diesem Fall, dass der Großteil der Zeit der Großteil der Informationen unverändert bleibt. Im Gegensatz dazu steht die Überwachung bei Tag. Hier sind potentiell viele Veränderungen erkennbar, jedoch ist nur ein kleiner Teil für die Überwachungsaufgabe wichtig [3]. Dieses Beispiel zeigt, dass eine Differenzierung von Überwachungsaufgaben nötig ist um diese vereinfachen oder ermöglichen zu können.

Als allgemeine Ziele von allen Geräten, die Überwachungsaufgaben unterstützen lassen sich festhalten:

- Die Aufmerksamkeit des Aufgaben-Ausführers soll auf, für die Erfüllung der Aufgabe, relevante Informationen geleitet werden, ohne dass es zu einer Ermüdung kommt.
- Es soll ermöglicht oder vereinfacht werden die Informationen in relevant und irrelevant zu unterteilen.

2.3 Haptische Schnittstellen

Der Mensch verfügt über einen Tastsinn. Um Informationen über diesen Sinn übertragen zu können, werden haptische Schnittstellen verwendet.

Die für den Tastsinn verantwortlichen Nervenzellen können auf unterschiedliche Arten stimuliert werden. Dementsprechend gibt es unterschiedliche haptische Aktuator, die zu Informationsübertragung verwendet werden können. Dabei ist ein Aktuator ein Bauelement, welches elektrische Signale in andere physikalische Größen, wie beispielsweise Bewegung, umsetzt. Dabei ist eine Unterscheidung zwischen Aktuator zu treffen. Die Kommunikation kann entweder über mechanische Bewegung oder elektrische Impulse erfolgen. Darüber hinaus lassen sich weitere Charakteristiken erkennen:

Für beiden Aktuator-Typen vergleichbar sind folgende Charakteristiken:

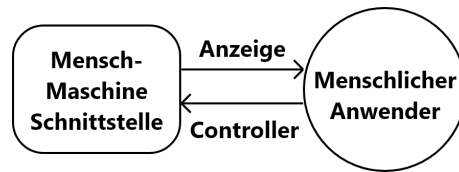


Abb. 3. Grundlegende Kommunikation zwischen Mensch und Maschine.[4]

- Position
Die Position gibt den Ort der Stimulation durch den Aktuator an. Die Haut reagiert nicht an jeder Stelle gleich empfindlich auf haptische Stimulation[5, S. 91]. Die empfindlichsten Stellen liegen in den Fingerspitzen.
- Berührungsfläche Die Berührungsfläche gibt die vom Aktuator stimulierte Fläche an.
- Dauer
Die Dauer gibt die zeitliche Länge der Aktivierung des Aktuators an.

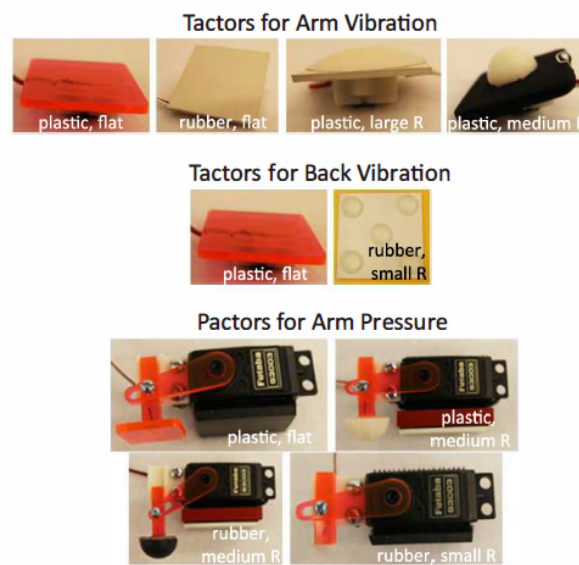


Abb. 4. Beispiele für haptische Aktuatoren[6]. Es liegt eine Unterscheidung von dem Verwendungszweck, dem verwendeten Material und der Form des Materials vor.

Für die Kommunikation über Vibrationen[5]:

- Frequenz

Die Frequenz gibt die Anzahl der Wiederholungen des Bewegungszyklus des Aktuators, über einen Zeitraum, an.

- Amplitude/Intensität

Die Amplitude gibt das Ausrichtungsdelta des Aktuators an.

Für die Kommunikation über elektrische Impulse[7, S. 4]:

- Stromstärke

Die Stromstärke mit der der elektrische Impuls versetzt wird.

- Spannung

Die Spannung mit der der elektrische Impuls versetzt wird.

- Material

Das Material gibt an, aus welchem Chemischen Stoff die Kontaktfläche des Aktuators aufgebaut ist.

- Feuchtigkeit

Die Feuchtigkeit gibt die Menge an vorhandenem Wasser an der Kontaktfläche an. Dabei ist die Leitfähigkeit des Wassers der Grund für diese Charakteristik.

In beiden Fällen ist auch die Kombination der einzelnen Faktoren ausschlaggebend, wie effektiv die Kommunikation stattfindet. Dabei stellt jede Ausprägung dieser Kombinationen ein Aktivierungsmuster da. Diese Aktivierungsmuster werden von Menschen nicht nur mit unterschiedlichen Informationen, sondern auch mit subjektiven Emotionen belegt[8].

Ein Zusammenschluss von mehreren haptischen Aktuator führt zu einer größeren Anzahl von Einstellungsmöglichkeiten. Diese ermöglichen das Übertragen von komplexeren Informationen im Vergleich zu einem haptischen Aktuator. Eine Alternative Einsatzmöglichkeit ist zu der Erhöhung der Redundanz bei der Informationsübertragung. Dabei senden die haptischen Aktuator, beispielsweise, alle das selbe Übertragungsmuster. Das zu erreichende Ziel ist hierbei dem Menschen, der haptische Aktuator auf der Haut trägt, die Aufnahme der Information zu erleichtern. Diese Anwendung ist gerade in kritischen Situationen, wie sie etwa in militärischen Einsätzen zu finden sind, hilfreich[9]. Nikolic et al. [9] beschreibt, wie haptische Aktoren Piloten bei der Überwachung von Flugzeugdaten unterstützen kann. Je nach Einsatzbereich können zusätzliche Einschränkungen gelten. In dem bereits angesprochenen Militärbeispiel ist eine Verwendung von Aktoren, die an dem Finger angebracht sind, nicht sinnvoll. Eine Positionierung an den Fingern würde die Verwendung desselben einschränken.

3 Anwendungen

Nun stellt sich die Frage in welchen Ausprägungen diese Teilgebiete zusammengeführt werden können. Deshalb sollen im folgenden Anwendungen, die alle drei Teilgebiete umfassen beleuchtet werden.

3.1 Sinneswiederherstellung

Menschliche Sinne können, von Geburt an oder im Laufe der Zeit, nicht, oder nur eingeschränkt, funktionsfähig sein. Um diesen Leistungsverlust ausgleichen zu können bedarf es technischer Hilfsmittel. Hierbei bietet die menschliche Haut eine Möglichkeit zur Aufnahme von Informationen, die typischerweise über andere Sinne aufgenommen werden würden.

Sehvermögen Nach dem Stand der Forschung ist das Auge das leistungsstärkste Sinnesorgan, gemessen an der übertragenen Datenmenge[10]. Dabei liegt die absolute Leistung ca. bei der eines Ethernet-Kabels mit 10 Mbit/s[10]. Der Sehsinn kann somit bereits aus technischen Gründen nicht vollständig über die Haut simuliert werden. Die für die Überwachung der Umwelt wichtigen Informationen lassen sich von den unwichtigen differenzieren.

Lesen Geschriebene Worte sind eine Darstellung der menschlichen Sprache. Im Fall der Einschränkung des Sehvermögens ist auch die Fähigkeit zu lesen beeinträchtigt.

Device	Function	Actuators	Display Location	Display Dimensions
Optacon ^a	Reading device for those with visual impairments	Piezoelectric bimorphs	Fingertip	24 × 6 pin array, vibrating at 230 Hz

Abb. 5. Rahmendaten des Optacons.[5]

Optacon Eine Lösung für diese Einschränkung wurde von Bliss et al. 1970 in Form des "Optacon" entwickelt (Zitiert nach:[5]). Dabei werden auf einer Anzeigefläche die Buchstaben in Form von Vibrationen dargestellt. Das identifizieren der Buchstaben übernimmt ein Scanner, der über geschriebene Worte bewegt werden kann. Mit diesem Gerät ist es möglich zwischen 50 und 100 Worten in der Minute zu lesen [5]. Bliss et al. [11] identifiziert in seiner Arbeit drei Testcharakteristiken, die einen Einblick in die Leistung eines "Direkt Übersetzers mit taktilem Ausgang"[11] bieten.

- Lesbarkeit
Die Lesbarkeit beschreibt, mit welcher Wahrscheinlichkeit, die gelesene Information von dem Benutzer, wie vorgesehen interpretiert wird. Für das Erreichen der Charakteristik muss es möglich sein Buchstaben zu unterscheiden. Auch ist die Erneuerungsrate, mit dem das Gerät die Buchstaben neu zeichnet, von Bedeutung. Eine zu geringe Wiederholungsrate kann zu Missverständnissen führen.
- Lesegeschwindigkeit
Die Lesegeschwindigkeit gibt an, wie schnell Wörter bzw. Buchstaben gelesen werden können. Diese Charakteristik hängt mit dem Trainingsstand des Anwenders zusammen.
- Lesbarer Ausschnitt
In dem Lesbaren Ausschnitt können Buchstaben willkürlich erkannt werden. Je größer dieser Ausschnitt ist, desto länger kann ein Anwender lesen ohne Änderungen an einem Gerät vorzunehmen.

3.2 Zwischenmenschliche Kommunikation

Die Zwischenmenschliche Kommunikation ist ein komplexer Vorgang, bei dem zumeist viele Sinne beansprucht werden. Über den Hörsinn werden die Informationen aufgenommen, die in der gesprochenen Sprache zu finden sind. Der Sehsinn wird verwendet um Lippen zu lesen und somit ein besseres Verständnis zu erzeugen. Darüber hinaus kann über ihn die emotionale Lage des Gesprächspartners eingeschätzt werden und auf Gesten, wie ein Handschlag, reagiert werden. Jedoch gibt es auch Umgebungen, in denen diese Kommunikationswege unterbunden werden. Der Geräuschpegel kann zu hoch sein um Sprache zu verstehen. Die Lichtverhältnisse können zu dunkel sein um den anderen Menschen zu sehen, mit dem kommuniziert wird [1].

Des weiteren können auch durch Unfälle, Alter oder Krankheiten die Augen und Ohren beeinträchtigt sein. Um die Fähigkeit der Zwischenmenschlichen Kommunikation zu erhalten sind Seh- und Hörhilfen verbreitete technische Werkzeuge. Eine weitere Alternative ist das Umverlagern der Kommunikation auf einen anderen Sinn[1].

Frank A. Geldard [1] beschreibt hierzu in seiner Arbeit die Entwicklung der Forschung, die versucht die zwischenmenschliche Kommunikation auf den Tastsinn zu verlagern. Zuerst wird beschrieben, wie die Haut dazu genutzt werden kann wie ein Ohr zu funktionieren. Dabei wird die Haut als Trommelfell verwendet. Dieser Ansatz liefert nach einer Einlernphase von 30h ein Vokabular von einigen einzelnen Worten[1]. Das Problem bei dieser Anwendung liegt in der Zuverlässigkeit. Bei einer Wiedererkennungsrare von ca. 75

Tactons Die Idee, für die haptische Wahrnehmung spezialisierte Vibrationsmuster zu erstellen, wird von Stephen Brewster und Lorna M. Brown[12] behandelt. Ihr Vorschlag ist sogenannte Tactile Icons (Tactons) zu verwenden, die haptisch gut differenzierbar sind. Dabei orientieren sie sich an musik ähnlichen Mustern,

die von den taktilen Aktoren dargestellt werden[12]. Der Unterschied zu der Darstellung von Buchstaben ist, dass die Tactons selbst eine Bedeutung haben und nicht in eine gesprochene Sprache übersetzt werden müssen um sie zu verstehen. Dadurch sollte eine bessere Antwortzeit bei dem Benutzer erreicht werden. Wie in 6 sichtbar.

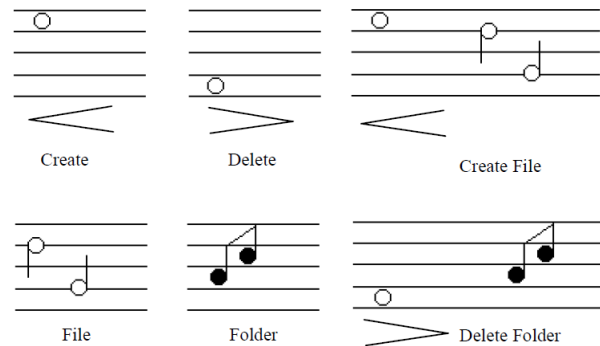


Abb. 6. Codierung von Informationen über einen Tacton[12]. Dabei wird eine Notation ähnlich zur Musik verwendet um Frequenz und Amplitude anzugeben.

3.3 Leistungssteigerung

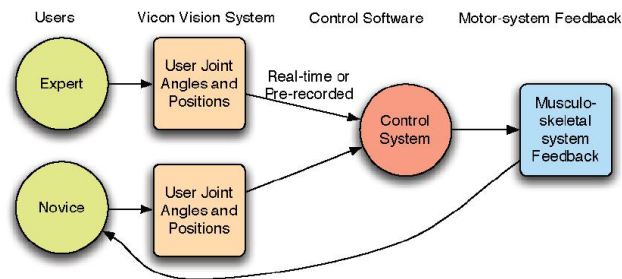


Abb. 7. Aufbau des Experiments zur Lehrbeschleunigung durch haptische Schnittstellen[13].

Die Weitergabe von motorischen Fähigkeiten findet aktuell überwiegend visuell statt. So erhalten Sportler die meisten Informationen über den korrekten

Ablauf einer Bewegung über dem visuellen Abgleich von sich mit einem Lehrer. Um diesen vorgehen zu unterstützen haben Jeff Lieberman und Cynthia Breazeal[13] eine haptisch unterstützende Vorrichtung entwickelt. Dabei wird der Schüler, der die neue motorische Fähigkeit erlernen will, mit einem tragbaren Feedback-System ausgestattet. In Abb. 7 ist das der Lernprozess beschrieben. Durch das System bekommt der Schüler direkt mitgeteilt, wenn er von dem vorgesehenen motorischen Ablauf abweicht. Dadurch bekommt er frühzeitig Feedback und gewöhnt sich keine falsche Bewegung an.

3.4 Erweiterung des Wahrnehmungsspektrums

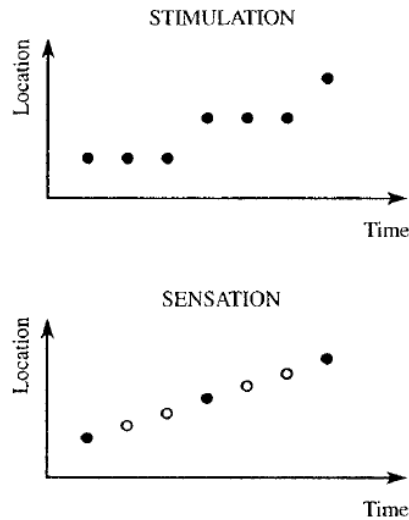


Abb. 8. Reale Stimulation im Vergleich mit der wahrgenommen Stimulation beim Auftreten der "Cutaneous rabbit" Illusion[4].

Haptische Illusion In 8 ist das Phänomen der "Cutaneous rabbit"[16] Illusion beschrieben. Die Illusion tritt auf, wenn unterschiedliche haptische Aktuatoren über die Haut verteilt sind. Falls diese in zeitlichen Abständen von ca. 40 msec bis 80 msec hintereinander aktiviert werden, wird die entstehende Stimulation nicht als viele einzelne Stimulationen sondern als eine durchgehende vernommen. Somit ist es möglich mit einem Aktuatoren-Feld, für den Menschen spürbare, "gerade" Linien zu erzeugen.

Navigationssysteme

Näherungswahrnehmung

3.5 Zuverlässigkeit Erzeugung

Haptische Aktuatoren bieten die Möglichkeit Informationen redundant darzustellen. So können Informationen, die von einem Display abgelesen werden, zusätzlich haptisch unterstützt werden. Dies ist ein Vorgehen, dass bei Piloten zu dem Einsatz kommt. Anius H. Rupert[14] beschreibt in seiner Arbeit das Problem der räumliche Desorientierung bei Piloten, die keinen Horizont als Referenz zur Verfügung haben. Dies führt zu einem Verlust der Orientierung und somit zu einem Kontrollverlust über das Flugzeug. Eine Lösung Stellt das "Tactical Situation Awareness System (TSAS)" [14] da. Dabei wird der visuelle Horizont durch haptisches Feedback simuliert[14]. Im Falle einer visuellen Einschränkung ist der Pilot somit nicht mehr ausschließlich auf seine Augen beschränkt. Aus diesem Beispiel der Anwendung von Redundanz zu der Erhöhung der Zuverlässigkeit in Beobachtungsaufgaben lassen sich einige allgemeine Schlüsse ziehen:

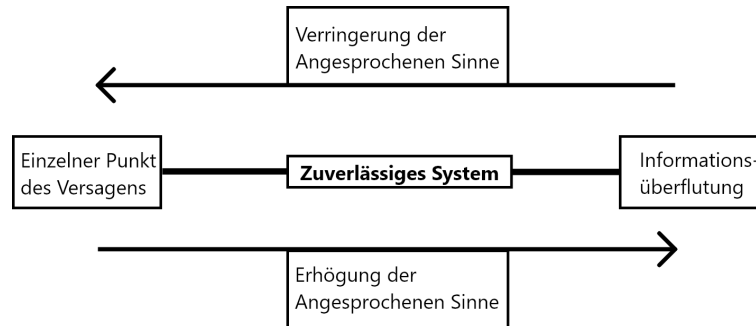


Abb. 9. Ein Ansatz für die Beschreibung der Zusammenhänge von der Anzahl der angesprochenen Sinnen im Verhältnis zu der Zuverlässigkeit.

Um die Zuverlässigkeit des Systems zu erhöhen muss zuerst festgestellt werden auf welcher Seite des Spektrums das Problem liegt. Erhält der Anwender zu wenige, kritische, Informationen, muss dies durch hinzufügen von weiteren Anzeigen korrigiert werden. Findet hingegen eine Reizüberflutung statt, muss abgewogen werden:

- Reduzierung der Informationen

Es lässt sich für jedes Monitoring Problem festhalten, dass eine Konkurrenz um die Aufmerksamkeit stattfindet. Dabei ist es jedoch nicht so, dass die Aufmerksamkeit eine limitierte Ressource ist. Vielmehr tritt sie bei der richtigen Stimulation hervor. So kann bsp. eine visuelle Darstellung alleine nicht interessant genug sein, um die Aufmerksamkeit zu fesseln, aber in Kombination mit einer auditoren oder haptischen Stimulation schon. Auf der Anderen Seite des Spektrums bewegt sich die Überreizung. In ihr gehen Nuancen durch zu viele Informationen verloren. Es muss also zuerst festgestellt werden, ob das Problem ein

Mangel an Information, die interessant sind, ist, oder ob eine Reizüberflutung stattfindet. Bei dem Pilotenbeispiel ist es eine Reizüberflutung. Der Pilot muss viele Informationen buchstäblich im Blick behalten. Dadurch kann die Anzeige überfüllt und schwer zu differenzieren sein. Eine weitere haptische Stimulation ermöglicht es daher die Information entweder zu unterstreichen, oder erst darzustellen. Das Isolierte Darstellen spart Platz auf dem Display. Jedoch stellt es einen Singel Point of Failure da. Wenn also die Information entweder übersehen wird, oder ein Äußerer Zustand als diese Information eingeschätzt wird, so kann es schnell zu Problemen führen. Eine Erhöhung der Redundanz kann, wenn es übertrieben wird ablenkend sein. Zum Beispiel, wenn ein Pilot durch die Vibration so stark erschrocken wird, dass er für mehrere Sekunden andere, potentiell wichtigere Informationen übersieht. Deshalb halte ich eine Limitierung auf zwei Faktoren für die Selbe Information im Pilotenbeispiel für sinnvoll. Auch ist zu berücksichtigen, dass die Einflussfaktoren, die man zur Verfügung hat nicht für alle Aufgaben gleich gut geeignet sind. Die Amplitude zu Ändern beispielsweise ist schwer zu erkennen. Leichter ist es die Dauer bzw. Lokation zu differenzieren.

Wie bereits ange

4 Selbständigkeitserklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, und weder ganz oder in Teilen als Prüfungsleistung vorgelegt und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Sämtliche Stellen der Arbeit, die benutzten Werken im Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen sind, habe ich durch Quellenangaben kenntlich gemacht. Dies gilt auch für Zeichnungen, Skizzen, bildliche Darstellungen und dergleichen sowie für Quellen aus dem Internet.

Name: Leon Huck

Titel der Arbeit: Aufmerksamkeitssteuerung durch Haptische Schnittstellen in Beobachtungsaufgaben

Ort, Datum: Karlsruhe, den 30.08.2019

Literatur

1. Frank A. Geldard. Some neglected possibilities of communication. *Science*, 131(3413):1583–1588, 1960.
2. Daniel Kahneman. *Attention and effort*, volume 1063. Citeseer, 1973.
3. Angus Craig. Nonparametric measures of sensory efficiency for sustained monitoring tasks. *Human Factors*, 21(1):69–77, 1979. PMID: 468268.
4. Hong Z. Tan and Alex Pentland. Tactual displays for sensory substitution and wearable computers. In *ACM SIGGRAPH 2005 Courses*, SIGGRAPH '05, New York, NY, USA, 2005. ACM.
5. Lynette A. Jones and Nadine B. Sarter. Tactile displays: Guidance for their design and application. *Human Factors*, 50(1):90–111, 2008. PMID: 18354974.
6. Y. Zheng and J. B. Morrell. Haptic actuator design parameters that influence affect and attention. In *2012 IEEE Haptics Symposium (HAPTICS)*, pages 463–470, March 2012.
7. K. A. Kaczmarek, J. G. Webster, P. Bach-y-Rita, and W. J. Tompkins. Electrotactile and vibrotactile displays for sensory substitution systems. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 38(1):1–16, Jan 1991.
8. M. A. Baumann, K. E. MacLean, T. W. Hazelton, and A. McKay. Emulating human attention-getting practices with wearable haptics. In *2010 IEEE Haptics Symposium*, pages 149–156, March 2010.
9. Mark I Nikolic, Aaron E Sklar, and Nadine B Sarter. Multisensory feedback in support of pilot-automation coordination: the case of uncommanded mode transitions. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, volume 42, pages 239–243. SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA, 1998.
10. Kristin Koch, Judith McLean, Ronen Segev, Michael A. Freed, I. I. Berry, Michael J., Vijay Balasubramanian, and Peter Sterling. How much the eye tells the brain. *Current Biology*, 16(14):1428–1434, June 2019.
11. J. C. Bliss, M. H. Katcher, C. H. Rogers, and R. P. Shepard. Optical-to-tactile image conversion for the blind. *IEEE Transactions on Man-Machine Systems*, 11(1):58–65, March 1970.
12. Stephen Brewster and Lorna M. Brown. Tactons: Structured tactile messages for non-visual information display. In *Proceedings of the Fifth Conference on Australasian User Interface - Volume 28*, AUIC '04, pages 15–23, Darlinghurst, Australia, Australia, 2004. Australian Computer Society, Inc.
13. Jeff Lieberman and Cynthia Breazeal. Development of a wearable vibrotactile feedback suit for accelerated human motor learning. In *Proceedings 2007 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pages 4001–4006. IEEE, 2007.
14. Angus H Rupert. An instrumentation solution for reducing spatial disorientation mishaps. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 19(2):71–80, 2000.
15. Gloria L Calhoun, Mark H Draper, Heath A Ruff, and John V Fontejon. Utility of a tactile display for cueing faults. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, volume 46, pages 2144–2148. SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA, 2002.
16. Frank A Geldard and Carl E Sherrick. The cutaneous “rabbit”: A perceptual illusion. *Science*, 178(4057):178–179, 1972.