

Diplomarbeit

Produktmerkmale mit Rücksicht auf Ergonomie und Panikvermeidungsaspekte

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines

Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

A.o. Prof. Dr. Kurt Matyas

(E330 Institut für Managementwissenschaften, Bereich: Betriebstechnik und Systemplanung)

Proj.-Ass. DI Arko Steinwender

Proj.-Ass. DDI Daniel Velasquez Norrman

(E330 Institut für Managementwissenschaften, Bereich: Betriebstechnik und Systemplanung,
Fraunhofer Austria Research GmbH)

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften

von

Christoph Sackl

0530117 (066482)

Guglgasse 8/3/24C

1110 Wien

Wien, im Oktober 2013

Christoph, Sackl



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN
Vienna University of Technology

Ich habe zur Kenntnis genommen, dass ich zur Drucklegung meiner Arbeit unter der Bezeichnung

Diplomarbeit

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

Ich erkläre weiters Eides statt, dass ich meine Diplomarbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen selbstständig ausgeführt habe und alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur, genannt habe.

Weiters erkläre ich, dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch Ausland (einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe und dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Wien, im Oktober 2013

Christoph, Sackl

Ich danke GOTT und der Francesco-Chiara Gemeinschaft.

Kurzfassung

Ziel dieser Arbeit ist die Darstellung von Produktmerkmalen hinsichtlich Ergonomie und Panikvermeidung anhand des tragbaren Gasdetektors „microSNIFF“. Das Projekt „microSNIFF“ wird im Rahmen von KIRAS, dem Österreichischen Förderungsprogramm für Sicherheitsforschung, unterstützt und beinhaltet die Entwicklung eines Detektorsystems für flüchtige, kritische Substanzen, das zur persönlichen Schutzausrüstung von Ersthelfern zählt.

Das Gasdetektionsgerät soll kostengünstig und möglichst für alle potenziell gefährdenden Personen im Einsatz leistbar sein. Zusätzlich soll die einfache Handhabung des Gerätes auch den Schutzgrad von nicht speziell geschulten Einsatzkräften erhöhen. Im Vordergrund stand die Erarbeitung der Informationsweitergabe von Warn- und Alarmsignalen durch Änderung verschiedener Parameter und deren Wirkung auf die Benutzer (Panikvermeidung) sowie die Erarbeitung ergonomischer Aspekte, die den einfachen und intuitiven Umgang mit dem Gerät erleichtern.

Eine fundierte Literaturrecherche in Datenbanken und die Teilnahme an Workshops unter der Mitwirkung von zukünftigen Bedarfsträgern schafften die Basis für die hier vorliegenden Erkenntnisse. Die Ergebnisse der Literaturrecherche zeigen deutlich, dass akustische, haptische und optische Signale durch Variation der Pause zwischen den Impulsen den größten Einfluss auf die wahrgenommene Dringlichkeit und Gefahr haben. Speziell akustische Signale erzielen durch ansteigende Frequenzfolgen die meiste Aufmerksamkeit. Die synchrone Ausstrahlung mehrerer Signalformen unterstreicht zusätzlich den Dringlichkeitsgrad. In den Meetings wurden in Anwesenheit der Projektpartner praxisbezogene Merkmale mit Hilfe von QFD erarbeitet und entsprechend den Projektvorgaben die bestmögliche Lösung für „microSNIFF“ vorgestellt. Das Ergebnis war ein einfach und intuitiv zu bedienendes, tragbares Gasdetektionsgerät, das die Einsatzkraft über akustische, visuelle und haptische Signale über das Vorhandensein von gefährlichen Gasen warnt.

Abstract

The aim of this master thesis is the presentation of product features according to prevention of panic and ergonomics of a portable gas detector, which is called “microSNIFF”. The project “microSNIFF” will be supported by KIRAS, the Austrian Development Program for Security Research. The goal of the project is the development of a detection system for tracing hazardous and toxic volatile substances which is used as personal protective equipment for first responders.

The detection device should be cheap enough to be affordable for all endangered on-site persons and additionally simple in handling. This ensures protection enhancement, especially for untrained personnel. The main target focuses changes in modifications on warning and alarm signals and the effect on the user (prevention of panic) as well as ergonomic issues that facilitate handling with the device.

Systematic literature search in databases and the participation in workshops established the basis of the present findings. The results of the literature search show clearly that acoustic, haptic and optical signals influence perceptual urgency and danger through changes in duration of pulse intervals. Specific acoustic signals, called sweeps, attract the highest attention by increasing frequency. Additionally, synchronous emission of different signal types highlight the level of urgency. In the meetings, practically orientated product characteristics were gathered with QFD. It was attached importance to find the best solutions according to project implementations. The result was an easily and intuitively operable, portable gas detector, that gives the first responder a warning when hazardous and toxic substances are detected.

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Einleitung | 3 |
| 2 | Begriffs- und Methodenbeschreibung | 6 |
| 2.1 | Panik | 6 |
| 2.1.1 | Angst- und Panikstörung aus psychiatrischer Sicht | 6 |
| 2.1.2 | Angst und Panik im spezifischen Kontext dieser Arbeit | 7 |
| 2.1.3 | Panikvermeidung | 9 |
| 2.2 | Ergonomie | 11 |
| 2.2.1 | Schnittstelle Mensch-Maschine..... | 11 |
| 2.2.2 | Usability Engineering | 12 |
| 2.2.3 | User Experience | 13 |
| 2.3 | QFD (Quality Function Deployment)..... | 13 |
| 2.3.1 | Bereiche des HoQ (House of Quality) | 15 |
| 2.3.2 | Ablauf von QFD | 16 |
| 2.3.3 | Einsparungspotenzial durch QFD | 19 |
| 3 | Projektrelevante Aspekte und Richtlinien der Ergonomie | 21 |
| 3.1 | Akustische Warnungen..... | 22 |
| 3.1.1 | Räumliche Wahrnehmung | 22 |
| 3.1.2 | Empfundene Dringlichkeit | 27 |
| 3.1.3 | Signaldauer..... | 34 |
| 3.2 | Taktile Warnungen | 35 |
| 3.2.1 | Frequenz und Amplitude | 36 |
| 3.2.2 | Bewegungsmuster | 37 |
| 3.2.3 | Position und Ausrichtung | 38 |
| 3.2.4 | Rhythmus..... | 38 |
| 3.3 | Multimodale Alarme..... | 38 |
| 3.3.1 | Optische und akustische Alarme..... | 38 |
| 3.3.2 | Synchrone und asynchrone Alarme | 42 |
| 3.3.3 | Vergleich von akustischen, visuellen und haptischen Signalen | 44 |
| 3.4 | Warnungen in Textform | 45 |
| 4 | Fallstudie „microSNIFF“ | 50 |

| | | |
|-------|------------------------------------|----|
| 4.1 | „microSNIFF“ und QFD | 50 |
| 4.2 | Produktspezifikationen | 53 |
| 4.2.1 | Signalausgabe | 53 |
| 4.2.2 | Betriebszustände | 58 |
| 5 | Zusammenfassung und Ausblick | 64 |
| 6 | Anhang..... | 67 |
| 6.1 | Anhang A..... | 67 |
| 6.2 | Anhang B..... | 68 |
| 6.3 | Anhang C | 77 |
| 7 | Literaturverzeichnis..... | 81 |
| 8 | Abbildungsverzeichnis | 84 |
| 9 | Formelverzeichnis..... | 86 |
| 10 | Tabellenverzeichnis | 87 |
| 11 | Abkürzungsverzeichnis..... | 88 |

1 Einleitung

Einsatzkräfte sind bei der Erfüllung ihrer Aufgaben einem immer breiter werdenden Spektrum an Gefahren ausgesetzt. Selbstredend, dass die Vorhersage aller gefahrvollen Situationen nicht möglich ist. Bedrohungen durch Naturgewalten gehören ebenso zum unkalkulierbaren Risiko wie Bedrohungen durch Terrorismus. Die Entwicklung neuer Sicherheitssysteme und der damit verbundene Schutz von Sicherheitskräften ist daher von besonderer Bedeutung. Augenblicklich am Markt angebotene Geräte zur Detektion von Gasen verfügen über die unterschiedlichsten Sensoren und sind durch zahlreiche Begrenzungen in der Anwendbarkeit eingeeengt. Einschränkungen wie die Feststellung von nur wenigen Gasen und limitierten Konzentrationsbereichen sowie die Notwendigkeit von speziell geschulten Benutzern machen den breiten Einsatz von Gasdetektionsgeräten unmöglich.

Ziel des Projektes „microSNIFF“ ist die Entwicklung eines portablen Detektors für flüchtige, kritische Substanzen, der die persönliche Schutzausrüstung von professionellen Ersthelfern ergänzt und ihre Sicherheit erhöht. Das portable Detektorsystem erkennt eine breite Palette an Gasen und Gasgemischen und hebt sich von konkurrierenden Produkten durch die Verwendung von wenigen Sensorelementen, den Preis und die einfache Handhabung ab. Der Einsatz von Mustererkennungsverfahren in Verbindung mit Halbleitersensoren und elektrochemischen Zellen ermöglicht zum einen den günstigen Preis und macht zum anderen die Detektion von Industriematerialien (TIMs) und Kampfstoffen (CWAs) in einem Gerät möglich. Das breite Spektrum an detektierbaren Substanzen macht den Einsatz von „microSNIFF“ im zivilen wie auch militärischen Bereich interessant.

Ziel dieser Diplomarbeit ist es, die panikmindernde Gestaltung von Warn- und Alarmsignalen sowie Empfehlungen für die ergonomische Bedienung und Handhabung des Gerätes vorzustellen. Der einfache und intuitive Umgang mit „microSNIFF“ rückt die Betrachtung der Schnittstelle Mensch-Maschine in den Vordergrund und ersetzt aufwendige Schulungen des Personals. Die Einbeziehung von GSK-Gesichtspunkten (Geistes-, Sozial- und Kulturwissenschaft) sichert die Berücksichtigung von Ergonomie und Aspekten möglichen Fehlverhaltens in Stresssituationen in Produktmerkmalen von „microSNIFF“. Insbesondere die wirkungsvolle und panikmindernde Warnung von professionellen Ersthelfern ist zentrales Thema dieser Arbeit. Gerade in Situationen physischer und psychischer Anspannung müssen die Anweisungen des Gerätes einfach, klar und verständlich sein.

Die Problemstellung lautet somit, wie Warn- und Alarmsignale zu gestalten sind, damit sie einerseits unmissverständlich in ihrer Bedeutung sind und andererseits die

Einsatzkraft dadurch nicht zusätzlichem Stress ausgesetzt wird. Das betrifft ebenso die Bedienung des Gerätes. Diese soll so einfach wie möglich sein und dem Ersthelfer keinen zusätzlichen Druck auferlegen. Die Wahl der verwendeten Alarmsysteme ist deshalb von besonderer Relevanz. Die Warnmeldungen, egal welcher Prioritätsstufe, dürfen auf keinen Fall irritierend sein. Sie sollen für den Anwender informativ sein und ihn bei seiner Entscheidungsfindung unterstützen. Die Variation von Frequenz, Schalldruckpegel und Impulslänge ermöglicht die Anpassung des akustischen und teilweise optischen Signals an den Gefährdungsgrad der Situation. Die zusätzliche, simultane Verwendung von haptischen Reizen verstärkt die Wahrnehmung des Benutzers und ermöglicht die unmissverständliche Differenzierung von untergeordneten Warnungen und hochrelevanten Alarmen. Viele Einstellmöglichkeiten am Gerät verwirren den Benutzer und stellen potenzielle Fehlerquellen dar. Die Bedienung des Gerätes über einen Knopf und die softwaremäßige Anpassung an Einsatzprofile wirken sich positiv auf die fehlerfreie Handhabung des Detektors aus.

Im Zuge von Literaturrecherchen in Datenbanken wurden Erkenntnisse früherer Untersuchungen zusammengetragen und auf deren Basis die bestmögliche Lösung für die Anforderungen von „microSNIFF“ getroffen. In der Diplomarbeit werden qualitative Merkmale hinsichtlich Bedienbarkeit und Alarmsignalen aufgezeigt und Lösungsansätze vermittelt. Im Rahmen des Projektes „microSNIFF“ fanden mehrere Arbeitstreffen statt, denen Vertreter von Bedarfsträgern, Industriepartnern, F&E und GSK beiwohnten. Erkenntnisse und Ideen aus diesen Workshops sind ebenfalls Bestandteil dieser Arbeit.

Der Aufbau widmet sich zunächst der Erläuterung grundlegender Begriffe, die in unmittelbarem Zusammenhang mit dieser Diplomarbeit stehen. Panik, Ergonomie und QFD sind zentrale Begriffe und werden im Kapitel „Begriffs- und Methodenbeschreibung“ näher erläutert beziehungsweise erklärt. QFD als umfassendes Planungswerkzeug begleitet das Projekt „microSNIFF“ durchgehend, um alle Aspekte bei der Produktentwicklung zu berücksichtigen und den Erfolg des Detektors sicherzustellen. Ausgehend davon erfolgt die Überleitung zum Kapitel „Aspekte der Ergonomie und Panikvermeidung in der Produktgestaltung“, welches zentrale Aussagen der Literaturrecherche beinhaltet. Hier werden die Parameter der akustischen, visuellen und haptischen Signale hervorgehoben und deren Auswirkungen auf das subjektive Empfinden von Personen aufgezeigt. Abschließend wird im Kapitel „Fallstudie „microSNIFF““ die Vorgehensweise der Produktentwicklung von „microSNIFF“ anhand von QFD erklärt und die gewonnenen Erkenntnisse aus der Literaturrecherche und den Arbeitstreffen zusammengefasst dargestellt. Abbildung 1 zeigt das methodische Vorgehen beim Verfassen der Diplomarbeit.

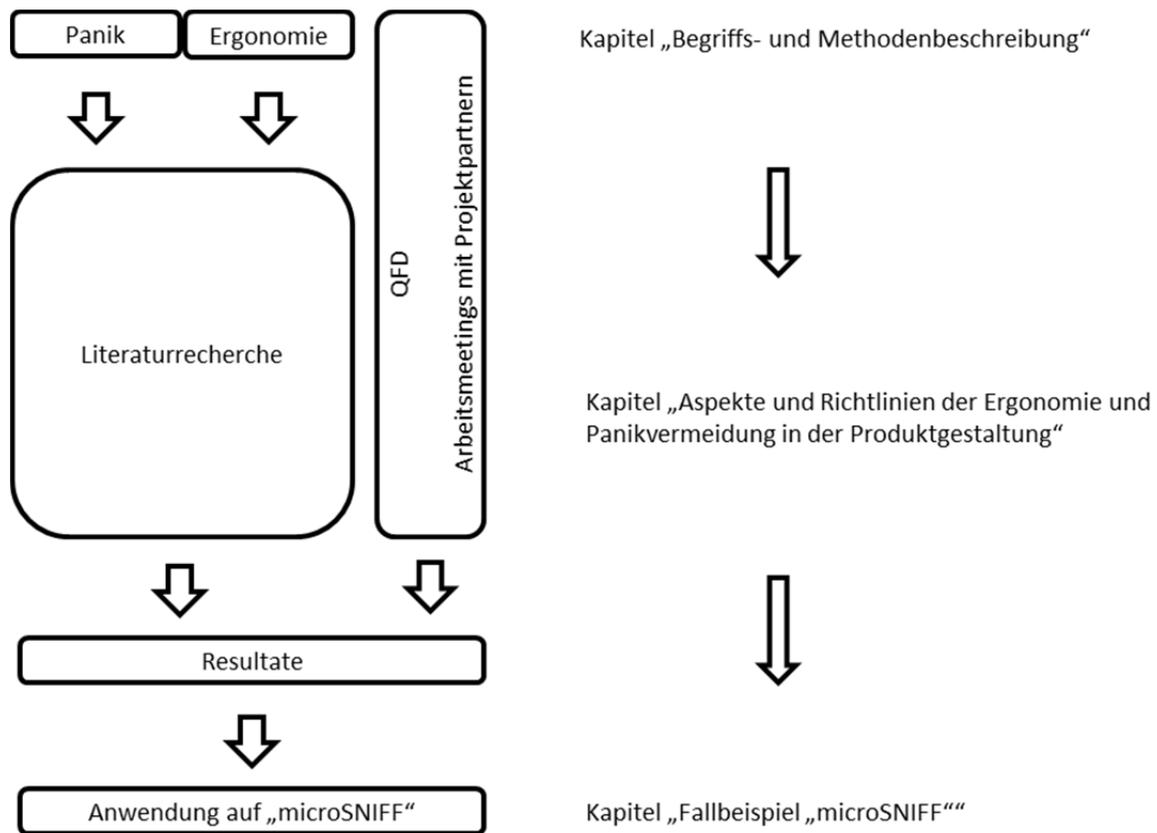


Abbildung 1: Methodik beim Verfassen der Diplomarbeit

In dieser Diplomarbeit sind alle personenbezogenen Bezeichnungen geschlechtsneutral zu verstehen.

2 Begriffs- und Methodenbeschreibung

Das folgende Kapitel erläutert die Begriffe Panik und Ergonomie, weil sie in der Diplomarbeit immer wieder Verwendung finden. Die beiden Begriffe sind im Titel dieser Arbeit enthalten und sind von zentraler Bedeutung in der Entwicklung von „microSNIFF“. Das kann das Wort selbst sein, aber ebenso Teilbereiche, deren Bedeutungen direkt oder indirekt den hier erklärten Überbegriffen zugeordnet werden.

Das Projekt „microSNIFF“ wird von einer bewährten Methode aus der Konzept- und Produktentwicklung begleitet, deren Erklärung dieses Kapitel abschließt. Die Methode heißt QFD und findet im Kapitel „Fallstudie „microSNIFF“ Anwendung. Sie vereint Kunden- und Unternehmenssicht bestmöglich und ist die Basis für die Entwicklung eines wettbewerbsfähigen Produktes.

2.1 Panik

Der Wortstamm Pan lässt sich auf den griechischen Hirtengott zurückführen, der durch sein lautes und energisches Auftreten die Leute in Angst und Schrecken versetzte.¹ Medien verwenden den Begriff Panik sehr unkritisch. Tatsächlich berichten sie häufiger über Massenunfälle und Flucht. Der amerikanische Katastrophenforscher Quarantelli spricht überdies von einem Panik-Mythos. Seiner Meinung nach reagieren Menschen in Notlagen überwiegend rational und sozial.²

Die Begriffe Panik und Angst werden umgangssprachlich immer wieder miteinander in Verbindung gebracht und im falschen Kontext gebraucht. Im Folgenden wird eine Abgrenzung zwischen diesen beiden Begriffen vorgenommen und erklärt, wie Panik im Zusammenhang dieser Diplomarbeit zu verstehen ist.

2.1.1 Angst- und Panikstörung aus psychiatrischer Sicht

Angststörungen sind durch extreme Befürchtungen, Spannungen oder durch Vorahnungen und daraus resultierendem Unbehagen charakterisiert. Sie zählen mitunter zu den häufigsten emotionalen Störungen, die Tausende von Erwachsenen und Kindern betreffen. Symptome können erdrückende Panik- und Angstempfindungen, unkontrollierbare zwanghafte Gedanken, aufdringliche Erinnerungen und immer wiederkehrende Alpträume sein. Posttraumatische Belastungsstörungen und Zwangsneurosen zählen ebenso zu den Angststörungen

¹ vgl. Schmidt-Traub, 2013, S.9

² vgl. Lasogga, 2011, S.437

wie Panikstörungen und Agoraphobie. Angststörungen werden in der Regel mit Psychotherapie und Medikation behandelt.³

Panikattacken werden als abgegrenzte Zeiträume intensiver Angst oder Unbehagens deklariert. Die Attacken sind durch mindestens vier schlagartig auftretende Symptome charakterisiert, die ihren Höhepunkt innerhalb von zehn Minuten erreichen. Das können Herzrasen, Schwitzen, Atemnot, Übelkeit, Angst, Kontrollverlust und Todesangst sein.⁴ Panikattacken sind Teil aller Angststörungen und können ebenso im Zusammenhang mit anderen psychischen Störungen auftreten. Sie sind ein unspezifisches Merkmal und kein hinreichendes Kriterium für das Vorliegen psychischer Erkrankungen. Die Panikattacken werden in der DSM-IV-TR⁵ aus diesem Grund nicht als eigenständige Störung deklariert. Die Einteilung erfolgt in spezifische Störungen, innerhalb derer Panikattacken diagnostiziert werden können.⁶ Eine Panikstörung liegt nach DSM-IV-TR bei mindestens zwei unerwarteten, abrupt auftretenden Panikattacken vor. Dabei muss über mindestens ein Monat bei mindestens einer Attacke anhaltende Besorgnis über das Auftreten weiterer Attacken bestehen oder Besorgnis über die Konsequenzen der Anfälle vorliegen oder deutliche Verhaltensänderungen ausmachbar sein. Die Panikattacken dürfen zusätzlich auf keine Substanzen wie Drogen und Medikamente oder Krankheitsfaktoren zurückzuführen sein, da es sich in diesem Fall um eine Angststörung handeln könnte.⁷

2.1.2 Angst und Panik im spezifischen Kontext dieser Arbeit

Angst ist aus biologischer Sicht ein normales und zentrales Gefühl des Menschen. Empfindungen wie Freude, Wut, Überraschung, Ekel und Furcht sind ebenso in diese Klasse einzuordnen. Angst ist stets in die Zukunft gerichtet und bezieht sich auf ungewisse, unkontrollierbare Situationen und Vorstellungen. Angst ist nicht immer schlecht, obwohl sie als unangenehm empfunden wird. Sie ist in tatsächlich bedrohlichen Situationen überlebensnotwendig und sichert den Fortbestand der Menschheit. Angst versetzt den Körper in einen Zustand erhöhter Reaktionsbereitschaft. Herzschlag und Atmung werden schneller, die Durchblutung nimmt zu und die Muskeln spannen sich an. In Gefahrensituationen hilft uns Angst unbewusst und schnell zu handeln.⁸ Angst ist zudem in geringer bis mittlerer Intensität ein Motivator. Ehrgeiz, Konzentration und Anstrengung werden forciert und

³ vgl. <http://www.appi.org/Pages/AnxietyDisorders.aspx> (Gelesen am: 04.07.2013)

⁴ vgl. Strauß, 2012, S.232

⁵ DSM-IV-TR (Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, Fourth Edition, Text Revision): diagnostisches und statistisches Verzeichnis psychischer Störungen der American Psychiatric Association (APA). Die 4. Auflage wurde im Jahr 2000 einer Textrevision unterzogen (vgl. <http://lexikon.stangl.eu/3362/dsm-iv/>) (Gelesen am: 06.07.2013))

⁶ vgl. Wittchen, 2011, S.916

⁷ vgl. Wittchen, 2011, S.917f.

⁸ vgl. Morschitzky, 2009, S.1f.

unterstützen das Erbringen außergewöhnlicher Leistungen.⁹ Angst schlägt in Situationen extremen Ausmaßes in Panik um. Dabei kommt das geordnete Denken und Handeln zum Erliegen.¹⁰ Panik wird durch zwei Faktoren ausgelöst. Entweder direkt über einen lebensbedrohlichen Reiz wie der Brand einer Tribüne in einem Stadion oder durch Nachahmung von Handlungen, die zur Massenreaktion führt und Gedränge entstehen lässt, das wiederum als lebensbedrohlicher Reiz wahrgenommen wird. Es spielt dabei keine Rolle, ob das wahre oder vermeintliche Informationen sind. Bei der Krönungsfeier von Zar Nikolaus II gab es das Gerücht, dass das Freibier bald zu Ende sein werde. Als Reaktion darauf wollten sich viele ein letztes Bier sichern, was schlussendlich in einer Massenpanik mit Toten endete.¹¹

In Paniksituationen herrscht ein Zustand hoher psycho-physischer Erregung. Dabei wird der sympathische und parasympathische Teil des autonomen Nervensystems zur Gänze alarmiert. Als Folge werden die Muskeln mit mehr, die Verdauungsorgane mit weniger Blut versorgt, die Atmung wird schneller, der Muskeltonus erhöht, die Pupillen weiten sich, die Haare stellen sich auf und es bildet sich Schweiß auf der Haut. Panische Zustände sind von der Herabsetzung sämtlicher kognitiver Fähigkeiten begleitet. Die Personen sind kaum in der Lage rationale Entscheidungen zu treffen. Die Wahrnehmung ist ebenfalls davon betroffen. Einschränkung des Gesichtsfeldes und der Hörfähigkeit sowie Reduktion der Schmerzempfindlichkeit sind mögliche Folgen. Bemerkenswert ist, dass die kognitiven Fähigkeiten nicht vollkommen abgeschaltet werden. Der Flüchtende erkennt, wenn keine Gefahr mehr besteht und bricht daraufhin die Flucht ab. Das eigene Überleben steht bei Panik im Vordergrund. Kooperative Werte treten in den Hintergrund. Menschen versuchen sich mit allen zur Verfügung stehenden Mitteln Vorteile zu verschaffen und trampeln andere nieder oder stoßen sie beiseite. Ausnahmen sind Personen, die zueinander in starkem emotionalen Kontakt stehen. Beispiele hierfür sind Mutter und Kind oder professionelle Helfer, deren Aufgabe es ist, in solchen Situationen an Schwächere zu denken. Grundsätzlich wird zwischen Paniksituationen von Einzelpersonen und von Menschenmengen unterschieden (Abbildung 2). Im Rahmen der vorliegenden Diplomarbeit ist die individuelle Panik von Bedeutung.¹²

⁹ vgl. Schmidt-Traub, 2013, S.8

¹⁰ vgl. Lasogga, 2011, S.3

¹¹ vgl. ebenda, S.435f.

¹² vgl. ebenda, S.437f.

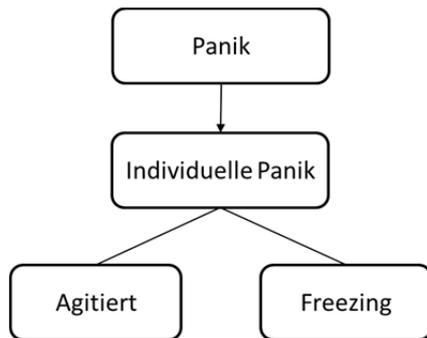


Abbildung 2: Paniktypen¹³

Es ist schwer vorherzusagen, zu welcher Reaktionsform, Agitiertheit oder Freezing, Menschen in Fällen individueller Panik neigen. Das zeitlich versetzte Auftreten beider Reaktionsarten bei einem Individuum ist durchaus möglich. Zunächst reagiert der Betroffene mit agitiertem Fluchtverhalten. Darauf folgend kann Freezing eintreten, nachdem der Flüchtende erkannt hat, dass sein Handeln keinen Erfolg verspricht. Dieses Verhalten ist auch aus dem Tierreich bekannt. Mäuse pendeln immer wieder zwischen beiden Zuständen hin und her, wenn sie von einer Katze gefangen wurden. Spatzen fliehen zunächst und stellen sich tot, wenn sie der Gefahr nicht entkommen können. Formen agitierter Panik sind durch Behindern der Rettungskräfte, Jammern, Schreien und wirres Umherlaufen der in Panik geratenen gekennzeichnet. Freezing ähnelt dem Totstellen im Tierreich. Das Herz schlägt langsamer und der Blutdruck fällt ab. Dem Jäger wird der Eindruck vermittelt, dass die Beute nicht mehr getötet werden muss, weil sie ohnehin bereits tot ist.¹⁴

Angst, Furcht und Panik werden in ihrer Bedeutung mit unterschiedlichen Formen der Bedrohung assoziiert. Angst ist eine Bedrohung aus unbestimmter Richtung, Furcht ist gerichtete Angst und bezieht sich subjektiv auf äußere Gefahren. Panik hingegen ist ein Zustand der absoluten geistigen und/oder körperlichen Unterlegenheit.¹⁵

2.1.3 Panikvermeidung

Der Titel dieser Diplomarbeit beinhaltet das Wort Panikvermeidung. Es wird hierbei auf panikauslösende Reize Bezug genommen, denen Einsatzkräfte im Notfall ausgesetzt sein können und die in der Produktentwicklung von Geräten wie „microSNIFF“ berücksichtigt werden. Das können allgemeine aber auch akustische und/oder visuelle Reize sein, die es Rettungskräften in Ausnahmesituationen erschweren oder gar unmöglich machen, ihre Arbeit ruhig und geordnet auszuführen.

Der Umgang mit außergewöhnlichen Situationen gehört zum Berufsbild von Einsatzkräften. Im Zustand der Überforderung drohen akute Einschränkungen der

¹³ vgl. Lasogga, 2011, S.438

¹⁴ vgl. ebenda, 438f.

¹⁵ vgl. Morschitzky, 2009, S.3

Wahrnehmungs-, Merk-, Denk- und Kommunikationsfähigkeit. Dadurch erhöht sich die Wahrscheinlichkeit schwerer Fehler. Das schlimmste vorstellbare Ereignis wäre ein panikähnliches Verhalten von professionellen Ersthelfern. Es stellte sich im Zuge der Recherchearbeiten heraus, dass es konkret zu diesem Thema keine aussagekräftige Literatur gibt. Vorhandene Studien¹⁶ beschreiben die Merkmale und Konsequenzen belastender Einsatzsituationen ausführlich. Gegebenheiten wie Unfälle mit Kindern, tote Kollegen oder schreckliche Anblicke machen Standardeinsätze zu extremen Einsätzen. Rettungskräfte sind beim Eintreffen am Unfallort einer Vielzahl von Ereignissen ausgesetzt, die erst gefiltert und eingeordnet werden müssen. Das beginnt bei einem ersten Lageüberblick, dem Priorisieren von Informationen, dem Umgang mit Zuschauern und geht bis zu Entscheidungen, die beim Auftreten unerwarteter Geschehnisse rasch getroffen werden müssen. Personenbezogene Faktoren kommen ebenfalls zum Tragen. Das individuelle Erleben der einzelnen Person ist von immenser Bedeutung. Empfindet die Einsatzkraft die an sie gestellte Aufgabe als Herausforderung oder als Überforderung und wie stuft sie ihre Selbstwirksamkeit ein. Randbedingungen wie Alter, Geschlecht, Persönlichkeit und privates Umfeld fließen ebenso in das individuelle Leistungsvermögen eines jeden Ersthelfers mit ein. Strategien, wie diese Belastungen während eines Einsatzes bewältigt werden können, werden in facheinschlägigen Aus- und Fortbildungen kaum aufgegriffen und behandelt. Rettungskräfte verschiedener Einsatzorganisationen sind im Ernstfall sehr vielen Eindrücken ausgesetzt. Diese lösen, abhängig von fachlicher und emotionaler Erfahrung, individuelle Stressreaktionen aus. Abgesehen von der ohnehin stressbehafteten Grundstimmung in Notfällen ist es in diesem Zusammenhang umso wichtiger, dass Hilfsmittel jeglicher Art keine zusätzlichen stressfördernden Faktoren erzeugen. „microSNIFF“ soll dem Anwender hilfreich sein und ihm Sicherheit vermitteln.¹⁷

Mit Panikvermeidung sind in dieser Arbeit somit alle Maßnahmen gemeint, die dazu beitragen, dass der Benutzer auf angemessene und unverwechselbare Art und Weise gewarnt wird und dabei keinem zusätzlichen Stressor ausgesetzt wird.

¹⁶ vgl. Heringshausen, G.; Karutz, H.; Brauchle, G.: Wohlbefinden, Lebenszufriedenheit und Work-Family-Konflikt bei Einsatzkräften im Rettungsdienst, in: Notfall + Rettungsmedizin, 13 (2010), S.227-233

¹⁷ vgl. Karutz, 2013, S.58ff.

2.2 Ergonomie

Ergonomie beziehungsweise Ergonomik ist

*„die Wissenschaft von den Leistungsmöglichkeiten und –grenzen des arbeitenden Menschen sowie der besten wechselseitigen Anpassung zwischen dem Menschen und seinen Arbeitsbedingungen“.*¹⁸

Hauptaufgabe der Ergonomie ist die Förderung des Zusammenwirkens zwischen Mensch, Produkten und Systemen. Ergonomie stammt aus dem Griechischen und setzt sich aus „ergon“ und „nomos“ zusammen, das soviel wie „Arbeit“ und „Gesetz“ bedeutet. Umgangssprachlich wird die Bezeichnung „ergonomisch“ für Gegenstände gebraucht, die gut in der Hand liegen oder für eine bessere Körperhaltung sorgen. Der große Umfang von Teilgebieten innerhalb der Ergonomie hat eigene Fachbereiche entstehen lassen. Die unverzichtbare und umfassende Einbindung des Personal Computers in den Arbeitsablauf machte die Erforschung und Prävention von Gesundheitsschäden, die speziell durch Bildschirmarbeit entstehen, notwendig.¹⁹

2.2.1 Schnittstelle Mensch-Maschine²⁰

Hierbei steht die Anpassung der technischen Subsysteme an die physiologischen und psychologischen Fähigkeiten des Menschen im Vordergrund. Alle notwendigen Informationen für die Durchführung der Arbeitsaufgabe sind dem Informationsverarbeitungsprozess des Menschen anzugleichen.

Dieser Prozess ist grundsätzlich in die drei Phasen der Informationsaufnahme, Informationsverarbeitung und Informationsabgabe untergliedert. Die Informationsaufnahme meint in erster Linie das Erfassen und Trennen von optisch und akustisch relevanten Signalen von unbedeutenden. Im zweiten Schritt, der Informationsverarbeitung, erfolgen Erkennen und Identifizieren der Signalbedeutung sowie Urteilsbildung und Konsequenzbewertung. In der dritten Phase wird schlussendlich ausführendes und kommunikatives Handeln festgesetzt.²¹

In Anlehnung an den Informationsverarbeitungsprozess des Menschen ist eine rasche kognitive Verarbeitung der Reize bei gleichzeitig geringem Einsatz von mentalen Ressourcen anzustreben. Der Rückschluss auf den Ausprägungszustand einer Variablen durch eine andere sensorische Variable mit mehr als fünf Stufen ist zu vermeiden. Sensorische Variablen können Farbe, Größe oder Lautstärke sein. Bei mehr als fünf unterschiedlichen Zuständen einer Indikatorvariable könnte der Systembenutzer bei der Statusbeurteilung schlichtweg überfordert werden. Signale

¹⁸ Duden – Das Fremdwörterbuch, 2010

¹⁹ vgl. Erlhoff, 2008, S.129f.

²⁰ vgl. Schlick, 2010, S.969ff.

²¹ vgl. ebenda, S.287

werden auf Basis von vergangenen Erfahrungen und Erwartungen wahrgenommen und interpretiert. Ereignisse mit geringer Auftrittswahrscheinlichkeit sollten zudem durch zusätzliche Hinweise erweitert werden, um deren korrekte Interpretation sicherzustellen. Die Wahrscheinlichkeit der richtigen Interpretation einer Information erhöht sich zusätzlich, wenn sie zur selben Zeit mehrfach dargestellt wird. Diese Redundanz erlaubt die Wahrnehmung von Signalen in Störsituationen.

Ähnliche Signale werden leicht verwechselt, vor allem wenn ihre Bedeutung zuerst erlernt und bei Bedarf wieder abgerufen werden muss. Variablen und ihre Bedeutung sollen im Sinn des bildlichen Realismus an ihrer Anzeigeform erkennbar sein. Ein Thermometer, das hohe und niedrige Temperaturen anzeigt, soll senkrecht und nicht waagrecht angeordnet sein. Die Anzeige mehrerer Elemente, wie zum Beispiel die vielen Gleis- und Weichenstellungen eines Bahnhofs, kann durchaus als vereinfachte Abbildung der Realsituation erfolgen. In Situationen hoher Arbeitsbelastung und unter Zeitdruck ist es dem Menschen aufgrund seiner begrenzten Informationsverarbeitungskapazität beinahe unmöglich, Vorhersagen zu treffen. Dies ist dadurch zu erklären, dass unter solchen Umständen proaktives Verhalten gegenüber reaktivem Verhalten in den Hintergrund tritt. Anzeigen beeinflussen proaktives Verhalten positiv, wenn sie explizit Vorhersagen treffen und ermöglichen in Form einer einfachen Wahrnehmungsaufgabe die Prognose zukünftiger Bedingungen anhand der augenblicklichen Situation.

2.2.2 Usability Engineering²²

„Usability“ wird oft mit „Gebrauchstauglichkeit“ oder „Benutzerfreundlichkeit“ übersetzt. Beide Übersetzungen treffen sinngemäß nicht vollständig zu, da der Grad an Tauglichkeit und Freundlichkeit eines Systems gegenüber dem Benutzer schwer zu spezifizieren ist. Die deutsche Übersetzung „Benutzbarkeit“ scheint eindeutiger und treffender.

Die nachträgliche Änderung bestehender Systementwürfe ist oft schwierig und teuer oder gar nicht mehr möglich. Usability Engineering stellt Entwicklern Möglichkeiten zur Verfügung, mit denen die Faktoren, die über Erfolg oder Misserfolg eines Produktes entscheiden, bereits während der Entwicklung systematisch in den Griff zu bekommen sind.

Fachleute, die über einen längeren Zeitraum an einem Projekt gearbeitet haben, sind nicht mehr in der Lage, ihre Sichtweise der eines unbedarften Benutzers anzupassen. Außerdem sind sie bezüglich dem Anwendungsgebiet Laien, in der die Lösung zum Einsatz kommen wird. Die systematische Einbeziehung der Benutzersicht in die Entwicklung spielt im Usability Engineering eine zentrale Rolle.

²² vgl. Richter, 2013, S.2ff.

Usability Engineering umfasst mehr als die Optimierung der Benutzeroberfläche. Es geht viel mehr darum, wie gut Benutzer Werkzeuge in ihrem Umfeld zur Erreichung ihrer Ziele einsetzen können. Das zu erstellende Produkt muss in die Welt des Benutzers eingepasst werden und nicht umgekehrt. Das macht die Analyse der Benutzer, ihrer Aufgaben und des Anwendungskontexts sowie das Festlegen des Funktionsumfangs und der benötigten Informationen notwendig. Ergänzend sind optimale Abläufe und Prozesse zu erstellen.

Häufig werden Produkte mit vielen Funktionen ausgestattet, um möglichst viele Käufer anzusprechen. Die Gefahr liegt darin, dass mit zunehmender Komplexität die Benutzung des Produktes erschwert wird und der Kunde auf ein anderes Produkt ausweicht. Der Käuferkreis wird somit kleiner und nicht, wie gewünscht, größer. Wesentliche Punkte im Usability Engineering sind die Vermeidung von unnötiger Komplexität und die Reduktion von Funktionen auf ein ideales Minimum.

2.2.3 User Experience²³

Im Zusammenhang mit Usability Engineering ist immer häufiger der Begriff User Experience zu hören, das auf die Optimierung des Gesamterlebnisses des Kunden mit dem Produkt abzielt. Der Fokus ist hier nicht nur auf die funktionalen Aspekte eines Produktes gerichtet. Es geht um die Optimierung nicht technischer Systeme wie Museen, Bibliotheken und Messen sowie die Einbeziehung emotionaler Faktoren bezüglich Design und Ästhetik. Insbesondere steht die Interaktion mit dem Kunden vor und nach der eigentlichen Nutzung des Produktes im Vordergrund. Damit sind das Einholen von Informationen, die Unterstützung während der Bestellung und dem Kauf gemeint. Das Thema schließt neben Produkt-Design, Benutzerschnittstellen- und Prozessgestaltung ferner den Bereich Dienstleistungsmarketing mit ein.

2.3 QFD (Quality Function Deployment)

QFD ist eine Methode des Qualitätsmanagements, die durch planmäßiges, nachvollziehbares Vorgehen und die präventive Wirkung die frühzeitige Fehlervermeidung gegenüber der kostspieligen Fehlerentdeckung in späteren Produktphasen unterstützt. QFD ist nicht nur ein Werkzeug, das unnötige Kosten zu sparen hilft. Es ist vielmehr eine Methode, die die konsequente Orientierung an den Kundenwünschen als obersten Maßstab in den Vordergrund rückt.²⁴

²³ vgl. Richter, 2013, S.156f.

²⁴ vgl. Brüggemann, 2012, S.31

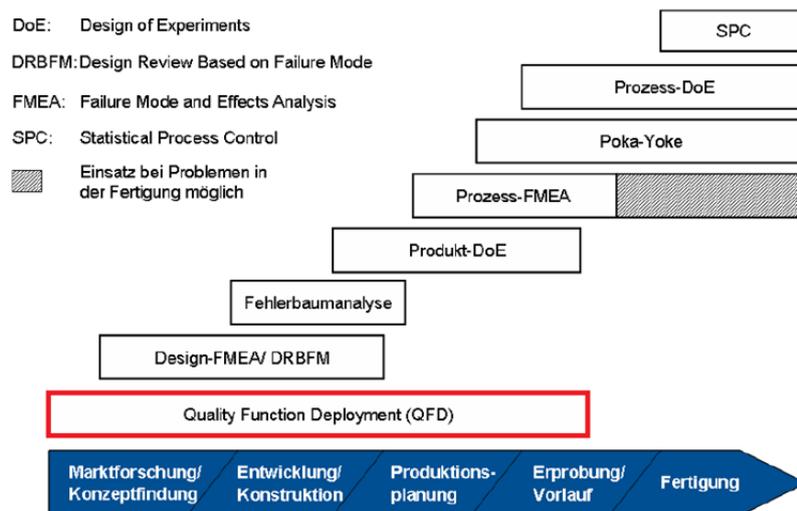


Abbildung 3: Vergleich der Anwendbarkeit von Methoden auf die Phasen der Produktentstehung²⁵

Die Bandbreite der Anwendbarkeit von QFD reicht von der Konzeptfindung bis weit über die Produktionsplanung hinaus und demonstriert damit die Vielseitigkeit dieser Methode (Abbildung 3). Die systematische, teambasierte Umsetzung von Kundenanforderungen in technische Merkmale stärkt die Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens, hilft Marktanteile auszubauen und fördert die effiziente und zielgerichtete Entwicklung von Produkten.²⁶

²⁵ vgl. Brüggemann, 2012, S.30

²⁶ vgl. Werdich, 2011, S.153

2.3.1 Bereiche des HoQ (House of Quality)²⁷

Das HoQ steht im Mittelpunkt der QFD und dient als Visualisierung der Kundenanforderungen, der Produktmerkmale sowie den daraus abgeleiteten Ergebnissen.

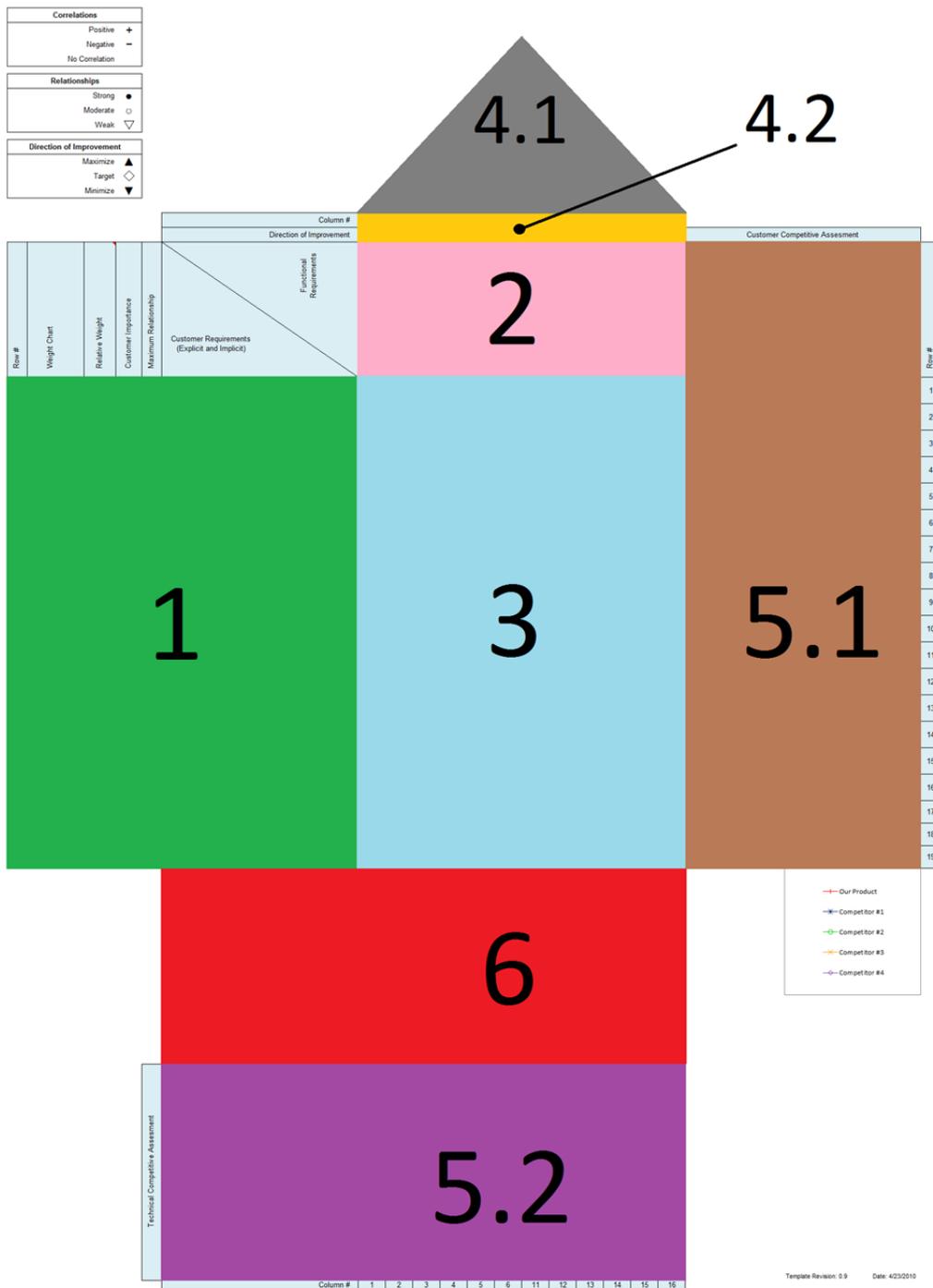


Abbildung 4: Bereiche des House of Quality²⁸

²⁷ vgl. Brüggemann, 2012, S.31

²⁸ eigene Anfertigung, Vorlage vom IMW

- In *Bereich 1* werden die Anforderungen des Kunden und deren Gewichtung eingetragen. Die zentrale Frage lautet „Was will der Kunde beziehungsweise was verlangt er vom Produkt?“
- *Bereich 2* repräsentiert die „Stimme des Unternehmens“ und stellt die Frage „Wie erfüllen wir die Forderungen beziehungsweise sind sie lösbar?“ in den Raum.
- *Bereich 3* stellt die Zusammenhänge zwischen dem „Was“ und „Wie“ in einer Beziehungsmatrix dar.
- *Bereich 4* ist das Dach des HoQ und ist für die Darstellung von gegenseitigen Wechselwirkungen der Produktmerkmale vorgesehen.
- Der Vergleich des eigenen Produktes mit Konkurrenzprodukten findet in *Bereich 5* statt.
- *Bereich 6* gibt die qualitativen Zielgrößen der Produktmerkmale wieder.

2.3.2 Ablauf von QFD

Der Ablauf einer QFD-Analyse gliedert sich in folgende Phasen:

- Kundenanforderungen ermitteln
- Festlegen der Produktmerkmale
- Korrelationen ermitteln
- Erkennen von Wechselwirkungen
- Vergleich mit Konkurrenzprodukten
- Zielgrößen bestimmen

Kundenanforderungen ermitteln (Bereich 1)

Zu Beginn werden die Kundenanforderungen an das zu entwickelnde Produkt ermittelt. Das kann beispielsweise mithilfe eines Fragebogens und der Berücksichtigung von Erkenntnissen aus vorangegangenen Produktentwicklungen geschehen. Die Angaben von Kunden sind meist sehr vage formuliert. In mehreren iterativen Schritten werden die allgemeinen Aussagen in konkrete Anforderungen übersetzt und aus Sicht des Kunden gewichtet, sodass sie in das HoQ eingetragen werden können.²⁹ Die interdisziplinäre Teamzusammensetzung ist für den Erfolg des zu entwickelnden Produktes enorm wichtig. Das Einbringen von Wissen aus unterschiedlichen Fachbereichen in die Produktplanung und -entwicklung gewährleistet die gesamtheitliche Betrachtung des Erzeugnisses und fördert bereichsübergreifendes, vernetztes Denken.³⁰ In diesem Schritt ist es wichtig, dass die Teilnehmer am QFD die Position des Kunden einnehmen und die Kundenanforderungen tatsächlich aus deren Sicht sehen. Das Festlegen der

²⁹ vgl. Brüggemann, 2012, S.35

³⁰ vgl. Werdich, 2011, S.154

Zielgruppe ist von Anfang an für das Treffen klarer Entscheidungen essentiell. Eine zu schwammige Formulierung der Zielgruppe endet zumeist in abschweifenden Diskussionen ohne erkennbaren Informationsgewinn.³¹

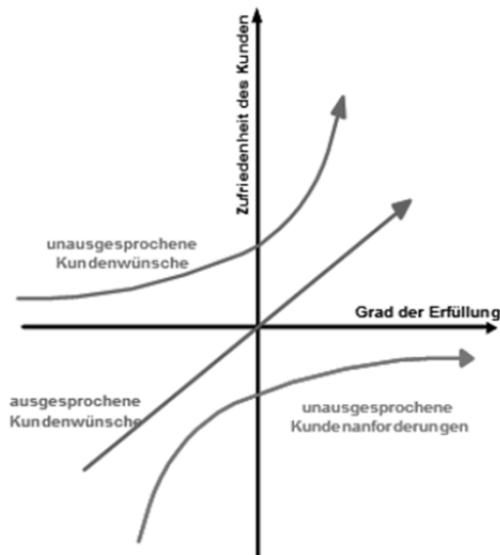


Abbildung 5: Einteilung von Kundenanforderungen³²

Die Kundenanforderungen lassen sich in drei Bereiche gliedern (Abbildung 5):

- Unausgesprochene Kundenwünsche (Begeisterungsanforderungen) werden weder kommuniziert noch erwartet. Das Produkt erhält durch sie das „gewisse Etwas“ und erfreut den Kunden.
- Ausgesprochene Kundenanforderungen (Funktionsanforderungen) werden vom Kunden klar formuliert und erwartet.
- Unausgesprochene Kundenanforderungen (Basisanforderungen) werden als selbstverständlich vorausgesetzt und vom Kunden nicht erwähnt.

Die Herausarbeitung der Begeisterungsanforderungen sollte bei der Erhebung der Kundenanforderungen im Mittelpunkt stehen.³³

Festlegen der Produktmerkmale (Bereich 2)

Die Produktmerkmale werden mit Methoden wie Funktionenanalyse, Brainstorming oder in einer Gruppendiskussion ermittelt und sollen von allgemeiner Natur sein. Die Vorgaben sollen einerseits keine Einschränkungen darstellen und andererseits die Kundenanforderungen bestmöglich abdecken.³⁴ Hauptbaugruppen und Bestandteile

³¹ vgl. Brüggemann, 2012, S.35

³² Werdich, 2011, S.155

³³ vgl. ebenda, S.155

³⁴ vgl. Brüggemann, 2012, S.35f.

des Produktes sind ein guter Anhaltspunkt als Produktmerkmale und lassen den Aufwand der QFD nicht zu groß werden.³⁵

Korrelationen ermitteln (Bereich 3)

Nachdem die zuvor ermittelten Merkmale in das HoQ eingetragen wurden, ist der Erfüllungsgrad der Kundenanforderungen durch die Produktmerkmale abzuklären. Die Kernfrage sollte dabei immer lauten: „Was für einen Einfluss hat die Änderung des Produktmerkmals auf die Kundenanforderung?“³⁶ Auf Anforderungen mit hoher Gewichtung ist dabei besonders zu achten. Die Festsetzung des Grades der Korrelationen zwischen Anforderungen und Merkmalen erfolgt in der Beziehungsmatrix mit Ziffern oder Symbolen (Abbildung 6).

- Stark
- Mäßig
- ▽ Schwach

Abbildung 6: Beispiel für Korrelationssymbole im HoQ

Den drei Symbolen sind überdies Zahlenwerte zugeordnet, die die numerische Wertung erlauben. „Stark“ erhält die zahlenmäßig höchste Gewichtung während „Schwach“ die kleinste zugeordnet ist. Das Ergebnis hebt jene Produktmerkmale hervor, die zur Erfüllung der Kundenwünsche besonders wichtig sind. Erforderlichenfalls ist die Ergänzung oder Streichung von Produktmerkmalen erforderlich.³⁷

Erkennen von Wechselwirkungen (Bereich 4)

Im Dach des HoQ (Bereich 4.1) werden die Wechselwirkungen der Produktmerkmale untereinander mit Symbolen eingetragen. Beispielsweise steht bei Akkuschaubern die Erhöhung der Akkuleistung mit der Gewichtszunahme in negativer Wechselwirkung. Als Lösungsmöglichkeit würde sich die Standardlieferung von zwei leichten Akkus anbieten, wobei die Ladezeit der Akkus kürzer als die minimale Einsatzdauer sein müsste. Unter Einbeziehung von Wechselwirkungen und Kundenanforderungen können Optimierungsrichtungen für Produktmerkmale direkt unter dem Dach des HoQ (Bereich 4.2) festgelegt werden. Sinngemäß sind Verbesserungen solcher Produktmerkmale zu favorisieren, die untereinander überwiegend in positiver Wechselwirkung stehen.³⁸

³⁵ vgl. Werdich, 2011, S.157

³⁶ vgl. ebenda, S.157

³⁷ vgl. Brüggemann, 2012, S.36

³⁸ vgl. Werdich, 2011, S.158

Vergleich mit Konkurrenzprodukten (Bereich 5)

Der Vergleich mit entsprechenden Produkten anderer Hersteller wird einerseits aus der Sicht des Kunden (Bereich 5.1) und andererseits unter Bewertung technischer Aspekte (Bereich 5.2) durchgeführt. Hinsichtlich der Kundenanforderungen sollen Mängel aus Sicht der Kunden an den Modellen aufgezeigt und speziell für das eigene Produkt verbessert werden. Bessere Bewertungsergebnisse der Mitbewerbermodelle machen zusätzlich deutlich, wo Nachholbedarf beim eigenen Produkt besteht. Beim technischen Vergleich sind vorab Messverfahren und Messgrößen für die Produktmerkmale zu bestimmen, die den Erhalt objektiver Ergebnisse sichern.³⁹

Zielgrößen bestimmen (Bereich 6)

Die Produktmerkmale werden nun qualitativen Zielwerten zugeordnet. Diese sollen aus Sicht des QFD-Teams die konkreten Merkmale unter Einbeziehung von Kundenanforderungen, Marktverhältnissen und technischen Möglichkeiten wiedergeben.⁴⁰

2.3.3 Einsparungspotenzial durch QFD⁴¹

Der Einsatz von QFD als umfassende und systematische Planungsmethode vereint Wissen aus vielen Unternehmensbereichen und ermöglicht durch die strukturierte Vorgehensweise die Entwicklung kundengerechter und wettbewerbsfähiger Produkte.

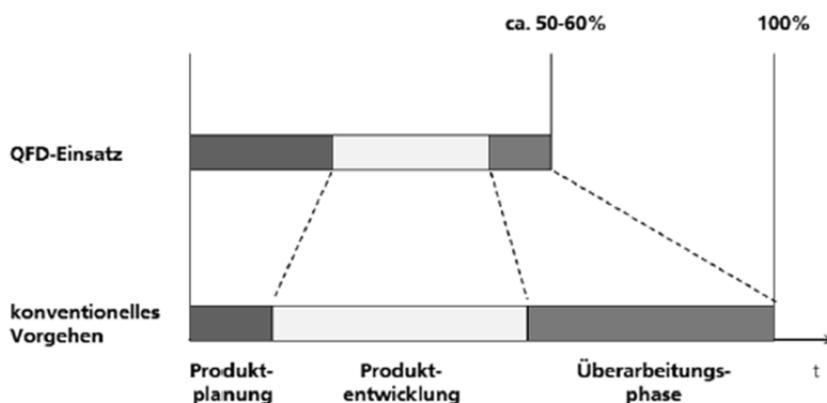


Abbildung 7: Einsparungspotenzial von QFD⁴²

Der im Vergleich zur konventionellen Vorgehensweise leicht erhöhte Zeitaufwand wird bei der Anwendung von QFD immer wieder hervorgehoben. Gesamt betrachtet ist dennoch eine Einsparung von bis zu vierzig Prozent möglich, da der konsequente

³⁹ vgl. Werdich, 2011, S.158

⁴⁰ vgl. Brüggemann, 2012, S.37

⁴¹ vgl. ebenda

⁴² Werdich, 2011, S.161

Einsatz von QFD kürzere Entwicklungszeiten, die Reduzierung von Änderungen und Nacharbeiten und die frühzeitige Problemerkennung sicherstellt.

3 Projektrelevante Aspekte und Richtlinien der Ergonomie

Professionelle Ersthelfer sind gewohnt, ihre Arbeit unter hochkomplexen Bedingungen routiniert auszuführen. Die meisten Einsätze werden souverän gemeistert und sind für das Notfallpersonal alltäglich. Dennoch ist jeder Notruf mit Anspannung verbunden. Bereits das Eintreffen am Unfallort kann mit Stress verbunden sein. Die Ersthelfer müssen sich einen Überblick verschaffen, Handlungsstrategien festlegen und Anweisungen geben. Viele Informationen prasseln auf sie ein und müssen entsprechend ihrer Wichtigkeit gereiht werden. Beispielsweise steigt die Fehlerrate bei der Patientenversorgung wegen Zeitknappheit um das Elffache, bei einem „Überangebot an Informationen“ um das Sechsfache. Zudem können unvorhergesehene Ereignisse, wie plötzliches Kollabieren des stabilen Patienten, eintreten.⁴³ Gerade in solchen Situationen ist es umso wichtiger, dass die elektronische Ausrüstung von professionellen Ersthelfern unterstützend wirkt. Geräte, die ständig piepsen und das scheinbar ohne ersichtlichen Grund, sind ein Störfaktor für jeden Einsatzhelfer. Geräte dieser Art stellen keine Hilfe dar und belasten das Einsatzpersonal zusätzlich.

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über die Gestaltung von Geräten, die zum Eigenschutz von Ersthelfern in Notfallsituationen getragen werden können. Dabei kommt der Art, wie Informationen des Gerätes an den Träger weitergegeben werden, besonderes Interesse zu. Die Informationsübertragung zwischen Mensch und Maschine ist vielfältig und ist anschaulich in Abbildung 8 dargestellt.

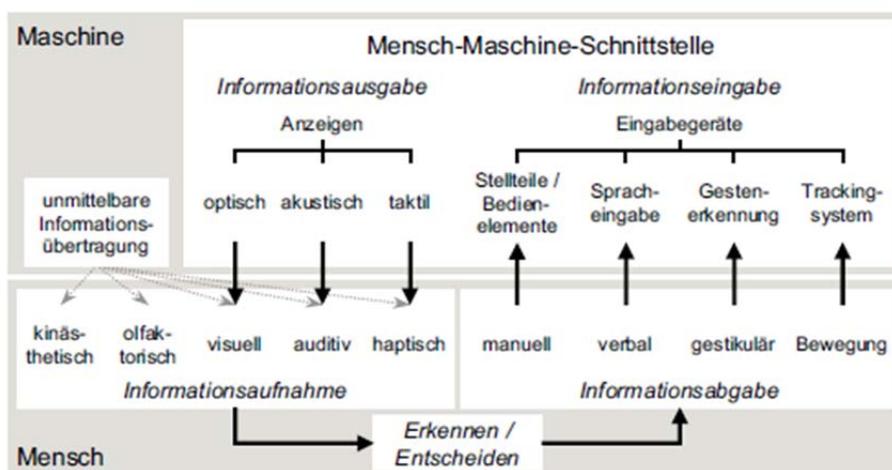


Abbildung 8: Informationsübertragung Mensch-Maschine⁴⁴

⁴³ vgl. Karutz, 2013, S.58f.

⁴⁴ Schlick, 2010, S.971

Neben visuellen, auditiven und haptischen⁴⁵ Wegen, existieren zusätzlich kinästhetische⁴⁶ und olfaktorische⁴⁷ Möglichkeiten des Informationsaustausches zwischen Mensch und Maschine. Diese Diplomarbeit behandelt ausschließlich auditive, visuelle und haptische Wege der Informationsübertragung. Effektive Warnhinweise müssen in erster Linie wahrgenommen und bemerkt werden. Die Auffälligkeit einer Warnung entscheidet darüber, ob sie aus einem Umfeld mit vielen anderen Reizen hervorsticht und registriert wird. Folgerichtig ist es enorm bedeutend, dass Warnungen sich von der Umgebung abheben und die Aufmerksamkeit von Personen, die in andere Aufgaben vertieft sind, auf sich ziehen.⁴⁸

3.1 Akustische Warnungen

Akustische Signale dienen dem Empfänger in vielerlei Hinsicht. Sie sollen Personen alarmieren und in einen wachsamem Zustand versetzen, sie vor spezifischen Gefahren und Situationen warnen und sie bei der Ausführung von Handlungen unterstützen. Das heißt, dass akustische Alarmeräumlich zuordenbar sein sollen und Informationen über die Art und die Dringlichkeit enthalten sollen. Die Semantik der Töne könnte erlernt werden, was jedoch das Verständnis der Bedeutung der Alarmerimmer auf einen kleinen Personenkreis beschränken würde. Effizienter ist die Verwendung akustischer Parameter, um den Charakter des Alarms wiederzugeben, anstatt die Bedeutung von Tönen und Tonfolgen zu erlernen.⁴⁹

Moderne Alarmsysteme erzeugen oft sehr viele Falschalarme. Diese Falschalarme haben zur Folge, dass die Reaktion der Benutzer auf Alarmerabnimmt. Dieses Phänomen ist unter dem Namen „Cry-Wolf-Effekt“ bekannt. Alarmsignale, die im Langzeitgedächtnis gespeichert worden sind, können die Wahrnehmung von eingehenden Reizen beeinflussen. Zum Beispiel haben viele Menschen gelernt, dass Alarmer von Autodiebstahlanlagen oft falsch sind. Sie ignorieren den Alarm, weil sie Alarmsignale in Verbindung mit Autodiebstahlanlagen als geistig unzuverlässig konzeptioniert haben. Gleiches trifft auf Brandmeldealarme zu.⁵⁰

3.1.1 Räumliche Wahrnehmung⁵¹

Die Qualität von Alarmen wird durch schnelles Auffinden der Tonquelle zusätzlich aufgewertet. Gewöhnliche Alarmer sind in ihrem Frequenzspektrum sehr eingeschränkt. Das erschwert die räumliche Ortung. Dieser Forderung entspricht ein

⁴⁵ Haptik: den Tastsinn betreffend (vgl. Duden – Das Fremdwörterbuch, 2010)

⁴⁶ Kinästhesie: Fähigkeit der unbewussten Steuerung von Körperteilen (vgl. ebenda)

⁴⁷ olfaktorisch: den Geruchssinn betreffend (vgl. ebenda)

⁴⁸ vgl. Wogalter, 2002, S.221

⁴⁹ vgl. Catchpole, 2004, S.749

⁵⁰ vgl. Bliss, 2007, S.191

⁵¹ vgl. Catchpole, 2007, S.749ff.

breitbandiges Signal, dennoch macht das alleine noch keinen brauchbaren Alarm aus.

Dem Menschen stehen für die räumliche akustische Zuordnung interaurale⁵² Laufzeit- und Pegeldifferenzen und die Nutzung der Außenohr-Übertragungsfunktion zur Verfügung. Interaurale Laufzeit- und Pegeldifferenzen bestimmen das räumliche Hören und ermöglichen dem Menschen Schall in der Horizontalebene zu lokalisieren. Ein Signal erreicht beim seitlichen Schalleinfall am Kopf das zugewandte Ohr früher als das abgewandte. Das zeitversetzte Erreichen des Schalls wird als Laufzeitdifferenz bezeichnet. Druckstau und Schallschatten sind Ursachen für Pegeldifferenzen. Die Außenohr-Übertragungsfunktion ermöglicht dem Menschen die Ortung von Schallquellen in der Vertikalebene.⁵³

In einer Studie von Catchpole et al. (2004) wurden verschiedene akustische Signale hinsichtlich Lokalisation und Identifikation untersucht. Ausgehend von der Medianebene, die mit 0 Grad festgesetzt wurde, gab es jeweils links und rechts drei Positionen (5 Grad, 10 Grad und 20 Grad), an denen die Signale (Kategorie „Töne“ oder „Rauschen“) abgespielt wurden. Die Teilnehmer waren aufgefordert das Azimut⁵⁴ und die Seite (links oder rechts) der Signalquelle zu bestimmen (einfacher Modus). Die Bewertung der Ortungsfähigkeit wurde streng nach Signal-Kategorien getrennt. Die Zuordnung der Signale zu den einzelnen Kategorien ist in Tabelle 1 und Tabelle 2 ersichtlich.

| Signalkategorie „Töne“ | Startfrequenz in Hz | Endfrequenz in Hz | Frequenzänderung in Hz/s |
|------------------------|---------------------|-------------------|--------------------------|
| Up-Sweep | 1000 | 3000 | 8000 |
| Sinuston | 2000 | - | - |
| Down-Sweep | 3000 | 1000 | -8000 |

Tabelle 1: Kategorie „Töne“⁵⁵

Ein Sweep ist in seiner einfachsten Form ein fortlaufendes Sinussignal, das seine Frequenz mit der Zeit ändert. Ändert sich die Frequenz linear mit der Zeit, so ist die Sweep-Rate konstant. Das heißt, es werden in gleichen Zeiten gleiche Frequenzbereiche überstrichen. Diese Form des Sweeps ist als einfacher beziehungsweise weißer Sweep bekannt.⁵⁶

Die einfachen Sweeps durchlaufen das Frequenzband (1-3 Kilohertz) in auf- und absteigender Form als Up- und Down-Sweep. Ergänzt wird die Kategorie „Töne“ durch einen Sinuston (2 Kilohertz).

⁵² interaural: Ableitung von inter (zwischen) und aurikular (zu den Ohren gehörend), (vgl. Duden – Das Fremdwörterbuch, 2010)

⁵³ vgl. Görne, 2006, S.118

⁵⁴ Azimut: Winkelgröße (vgl. Duden – Das Fremdwörterbuch, 2010)

⁵⁵ vgl. Catchpole, 2004, S.753

⁵⁶ vgl. Möser, 2010, S.122

| Signalkategorie „Rauschen“ | Frequenzbereich in Hz | Frequenzbereich Bandsperre in Hz |
|----------------------------|-----------------------|----------------------------------|
| Weißes Rauschen | 100-15000 | - |
| Weißes Rauschen (1-3 kHz) | 100-15000 | 1000-3000 |
| Weißes Rauschen (1-10 kHz) | 100-15000 | 1000-10000 |

Tabelle 2: Kategorie „Rauschen“⁵⁷

Weißes Rauschen hat sich als leicht zu lokalisieren herausgestellt und dient gewissermaßen als Referenzwert. Zwei der Signaltypen der Kategorie „Rauschen“ wurden im Bereich von 1-3 Kilohertz beziehungsweise 1-10 Kilohertz mit einer Bandsperre versehen, in der sie über keine spektralen Informationen verfügen.

Der Test wurde um eine zusätzliche Aufgabe erweitert (kombinierter Modus). Die Signale der Kategorie „Töne“ (Tabelle 1) sollten erkannt *und* lokalisiert und nicht wie zuvor nur lokalisiert werden. Zusätzlich wurden beide Signalkategorien miteinander kombiniert, die ebenfalls erkannt *und* lokalisiert werden mussten. Im Weiteren wird diese modifizierte Kombination der Kategorien „Töne“ und „Rauschen“ als „Kombinations-Signale“ bezeichnet, deren Details in Tabelle 3 zu sehen sind.

| Signalkategorie „Kombinations-Signale“ | Fb WR in Hz | Bandsperre WR in Hz | Fb Sinuston in Hz | Fb Sweep in Hz | Änderungsrate in Hz/s |
|--|-------------|---------------------|-------------------|----------------|-----------------------|
| WR + Up-Sweep | 100-15000 | 1000-3000 | - | 1000-3000 | 8000 |
| WR + Sinuston | 100-15000 | 1000-3000 | 2000 | - | - |
| WR + Down-Sweep | 100-15000 | 1000-3000 | - | 1000-3000 | -8000 |

Tabelle 3: Signal-Kategorie „Kombinations-Signale“ (WR = Weißes Rauschen, Fb = Frequenzbereich)⁵⁸

Die Kategorie „Töne“ blieb unverändert. Das weiße Rauschen wurde mit einer Bandsperre von 1-3 Kilohertz versehen, in die die Signale der Kategorie „Töne“ eingebettet wurden.

Im einfachen Modus (Lokalisation alleine) wurden bessere Ortungsergebnisse mit Rausch-Signalen erzielt. Tonale Reize sind ungenau zu lokalisieren und zudem an hohe Reaktionszeiten gekoppelt. Je kleiner der Winkel zwischen Medianebene und Signalquelle, desto höher die Fehlerraten und Reaktionszeiten. Rausch-Signale zeigen mit zunehmendem Azimut beachtliche Verbesserungen. Weißes Rauschen erzielt, wie erwartet, die meisten korrekten Antworten. Bei allen drei Rausch-Signalen nehmen die korrekt abgegebenen Antworten mit zunehmendem Azimut zu. Dieses Ergebnis bestätigt sich in den Reaktionszeiten, die mit zunehmendem Winkel kleiner werden, wobei weißes Rauschen wiederum die kürzeste Reaktionszeit bei ungefähr 550 Millisekunden aufweist. Mit zunehmender Breite der Bandsperre im Rauschen nehmen die Reaktionsgeschwindigkeit und vor allem die Genauigkeit bei kleineren

⁵⁷ vgl. Catchpole, 2004, S.753

⁵⁸ vgl. ebenda, S.754

Abweichungen von der Medianebene im Vergleich zum weißen Rauschen ab. Die Ton-Modi (Kategorie „Töne“) zeigen im Vergleich zu den Rausch-Modi (Kategorie „Rauschen“) bei der 10 Grad und 20 Grad Marke wenig Verbesserungspotenzial hinsichtlich der Richtigkeit der Antworten. An der 5 Grad Marke sind die beiden Kategorien an Signalen beinahe gleich auf. Ton-Modi zeigen mit größer werdendem Winkel, ausgehend von der Medianebene, keine deutlichen Verbesserungen. Einzige Ausnahme ist der Up-Sweep, der mit mehr richtigen Antworten als der Dauerton und der Down-Sweep beurteilt wird. Obwohl der Up-Sweep in seiner Kategorie dem Dauerton und dem Down-Sweep überlegen ist, liegt er in puncto Richtungsbeurteilung hinter den Signalen der Kategorie „Rauschen“. Die Ergebnisse der Reaktionszeiten zeigen das gleiche Muster wie bei der Richtungsbestimmung. Die Reaktionszeiten der Ton-Modi sind generell langsamer als jene der Rausch-Modi und weisen wenig Verbesserungen mit zunehmendem Winkel auf. Auch hier sticht aus der Kategorie der Ton-Modi der Up-Sweep wieder hervor. Er weist hinsichtlich der Reaktionszeit bessere Ergebnisse auf als der Dauerton und der Down-Sweep.

Zusammenfassung der Ergebnisse „Einfacher Modus“:

- Rausch-Signale sind leichter und schneller lokalisierbar als Ton-Signale
- Ortungsfähigkeit steigt bei Rausch-Signalen mit zunehmendem Azimut
- Ortungsfähigkeit sinkt bei Rausch-Signalen mit größer werdender Bandsperre
- Innerhalb der Ton-Signale ist der Up-Sweep am einfachsten zu orten

Die Kombinations-Signale können mit den Rausch-Signalen in puncto Lokalisation nicht mitziehen. Dieser Umstand ist auf den erhöhten Schwierigkeitsgrad der Aufgabe zurückzuführen. Die gestiegenen Anforderungen an Konzentration und Wahrnehmung sind ebenfalls an den Reaktionszeiten zu bemerken. Hier liegt der Minimalwert der Reaktionszeit ungefähr 200 Millisekunden über dem der Richtungsbestimmung von Ton-Signalen allein. Die Resultate der Ton-Signale im kombinierten Modus (Ortung und Identifikation) ähneln den Werten der Ortungsaufgabe, in der ausschließlich die Bestimmung der Richtung gefordert war. Es ist keine Annäherung der Ton-Signale im kombinierten Modus an einen Grenzwert zu erkennen. Zudem liegen die Resultate der Ton-Signale im kombinierten Modus unter den Werten der kombinierten Ton-Rausch-Signale. Wiederum dominiert der Up-Sweep über seine beiden kategorieverwandten Töne. Es zeigt sich im kombinierten Modus deutlich, dass Probanden Probleme mit der Zuordnung des Down-Sweeps haben.

Zusammenfassung der Ergebnisse „Kombinierter Modus“:

- Höhere kognitive Anforderungen bei Lokalisation und Identifikation von Rausch-Signalen

- Kombinations-Signale sind bei Ortungs- und Identifikationsaufgaben den Ton-Signalen vorzuziehen
- Das Kombinations-Signal „Weißes Rauschen + Up-Sweep“ erzielt die besten Ergebnisse bezüglich Fehlerrate und Reaktionszeit
- Ortung und Identifikation der Ton-Signale ergeben ein ähnliches Ergebnis wie Lokalisation alleine

Breitbandrauschen kann gut lokalisiert werden. Die Zuordnung der Richtung, aus der die Signale kamen, fiel den Teilnehmern bei den Ton-Signalen am schwersten. Die Richtungsbestimmung war für den Probanden bei Einsatz von Breitbandrauschen wesentlich leichter. Die Filterung eines bestimmten Frequenzbereiches im Breitbandrauschen kann die Ortungsgenauigkeit ernsthaft einschränken. Das Filtern des Breitbandrauschens in einem Frequenzbereich von 1-10 Kilohertz erschwert das Richtungshören erheblich, weil die spektralen Informationen für den Hörer sehr nützlich sind. Wichtig ist die Erkenntnis, dass die Leistungsfähigkeit der Zuhörer mit einer schmalen im niederfrequenten Bereich angeordneten Frequenzfilterung annähernd den Referenzwert von weißem Rauschen erreicht. Das Verhältnis von Klang- zu Rauschintensität (Komponentenverhältnis) darf weder zu klein noch zu hoch sein. Bei zu kleinem Verhältnis werden die Ton-Signale von den Rausch-Signalen überlagert. Ist das Verhältnis zu hoch, wird das Breitbandrauschen von den Ton-Signalen überschattet und das Richtungshören erschwert.

Die Tests zeigen, dass weißes Rauschen die besten Ergebnisse beim Richtungshören erbringt und dass eine Bandsperre im Bereich von 1-3 Kilohertz ein kleines Komponentenverhältnis bei minimalem Leistungsverlust der Ortung ermöglicht. Richtungshören ist bei der Ausstrahlung von Breitbandrauschen wesentlich einfacher als bei der Ausstrahlung von Tönen. Dies weist auf den positiven Einfluss von Frequenzänderungen bei der räumlichen Zuordnung hin. Im kombinierten Modus wurde die Fähigkeit der Probanden erprobt, Töne zu erkennen und sie gleichzeitig räumlich zu zuordnen. Entgegen den Ergebnissen früherer Studien sind Ort und Frequenz nicht voneinander abhängig. Die Ergebnisse zeigen, dass Ton-Signale im kombinierten Modus sehr wohl erkannt werden. Die Leistungsfähigkeit in puncto Richtungsbestimmung wurde im kombinierten Modus kaum von den zusätzlich vorhandenen Ton-Signalen beeinträchtigt. Die Kombination von Rausch- und Tonsignalen verspricht genauere und schnellere Richtungszuordnungen. Warnungen, deren räumliche Einordnung essentiell ist, sollten auf Breitbandrauschen aufgebaut sein. Eine schmale Bandsperre im Rauschen vermindert die Ortungsgenauigkeit nicht-signifikant, verbessert jedoch die Identifikation von klanglichen Merkmalen. Bei räumlich zuordenbaren Warnungen sind ständig die beiden Parameter „Richtungsbestimmung“ und „Tonwahrnehmung“ im Blickpunkt zu behalten und sinnvoll aufeinander abzustimmen.

3.1.2 Empfundene Dringlichkeit^{59, 60, 61}

Das Erkennen der Dringlichkeit einer Alarmmeldung ist neben der räumlichen Wahrnehmung ebenso von Bedeutung. Die Situation in einem Flugzeugcockpit beispielsweise kann die Behandlung mehrerer Alarme zur gleichen Zeit erfordern. Die Assoziation des Alarms mit der Ernsthaftigkeit hilft dem Empfänger die Aufgaben in der angemessenen Reihenfolge zu behandeln. Ein sich schnell wiederholender, hochfrequenter, unnatürlich klingender Ton wird dringlicher als ein langsamer und melodischer Ton empfunden.

In Studien wurde erhoben, auf welche Weise sich verschiedene Signale auf die Empfindung der Dringlichkeit auswirken. Rauschen war nicht vorhersagbar, klang unharmonisch und war ungeeignet um die Dringlichkeit von Warntönen auszudrücken. Ein Up- und Down-Sweep sowie ein Ton mit 5 Harmonischen, die mit weißem Rauschen hinterlegt wurden, wurden in puncto Dringlichkeit bewertet. Die Daten des Up- und Down-Sweeps sind in Tabelle 1 ersichtlich. Der Dauerton bestand aus einer Grundfrequenz von 500 Hertz mit Harmonischen bei 1000 Hertz, 1500 Hertz, 2000 Hertz und 2500 Hertz. Das weiße Rauschen wurde mit einer Bandsperrung im Bereich von 1-3 Kilohertz versehen, in die die Tonsignale eingebettet waren. Zusätzlich wurden die Töne und das weiße Rauschen mit unterschiedlichen Schalldruckpegeln ausgestrahlt. Das Rauschen war einmal um 9 Dezibel leiser und dann um 6 Dezibel lauter als die Töne. Die Töne wurden standardmäßig mit 80 Dezibel ausgestrahlt. Die Kombination aus Ton- und Rausch-Signalen wurde in vier Impulsen mit jeweils 50 Millisekunden Pause emittiert, wobei der erste Impuls 5 Dezibel leiser war, um erschütternde Reaktionen der Zuhörer zu vermeiden.

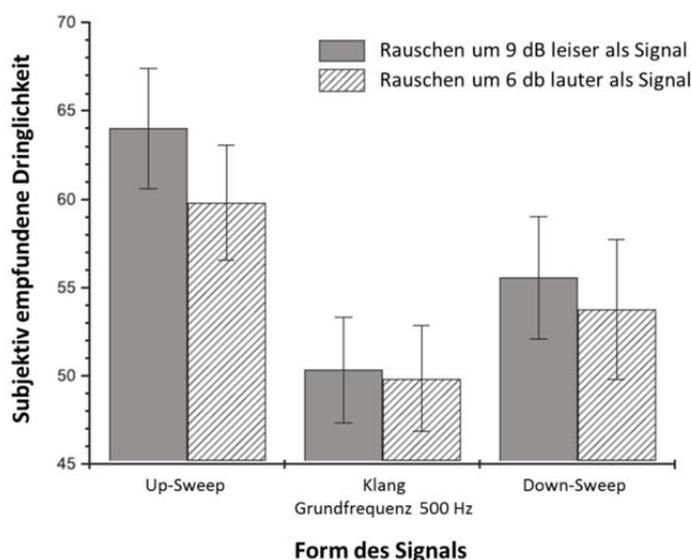


Abbildung 9: Empfundene Dringlichkeit von Ton-Mustern mit hinterlegtem Rauschen⁶²

⁵⁹ vgl. Catchpole, 2007, S.761ff.

⁶⁰ vgl. Gonzalez, 2012, S.45ff.

⁶¹ vgl. Haas, 1996, S.195ff.

Der Up-Sweep erzeugt mit großem Abstand das höchste Ausmaß an Dringlichkeit. Die Art des Tons und das Verhältnis aus Tönen und Rauschen bestimmen die wahrgenommene Dringlichkeit. Down- und Up-Sweep gleichen sich in ihrem Aufbau bis auf Start- und Endfrequenz vollkommen. Die Richtung der Frequenzfolge des Sweeps könnte ein entscheidender Parameter und dominanter als die Größe der Frequenzsprünge sein. Es ist offensichtlich, dass Komponentenverhältnisse mit lauten Tönen als dringender empfunden werden. Frequenzändernde Reize sind leichter als stationäre Reize zu erkennen, besonders wenn sie zusätzlich mit anderen Signalen überlagert sind. Mit steigendem Rausch-Pegel würde vor allem das stationäre Ton-Signal verschluckt werden und die Dringlichkeit des Warnsignals nicht mehr hörbar sein.

Die drei akustischen Parameter, Grundfrequenz, Schalldruckpegel und Taktfrequenz wurden einzeln variiert und bewertet.⁶³ Die Zusammenstellung der Töne ist auf Basis-Takte zurückzuführen. Ein solcher Basis-Takt besteht aus einem 200 Millisekunden andauernden Sinuston mit einer Grundfrequenz von 300 Hertz und 15 Harmonischen bei 20 Millisekunden On- und Offset. Jede Änderung am statischen Gleichdruck der Luft verursacht ein Geräusch. Daher müssen im Onset eines Schalls alle Massen und Volumenelemente aus ihrer Ruhelage heraus beschleunigt werden. Erst danach stellt sich eine periodische Schwingung mit quasistationärer Frequenz ein. Im Offset klingt die quasistationäre Schwingung wieder ab und kommt zur Ruhe.⁶⁴ Die Taktfrequenz wurde durch Einfügen von Pausen zwischen den Basis-Takten variiert. Die Pause zwischen den Basis-Takten reichte von 9 Millisekunden bis 475 Millisekunden. Keine Pausen wurden bei der Änderung der Grundfrequenz und des Schalldruckpegels eingefügt, weil jeder Basis-Takt durch On- und Offset voneinander unterscheidbar war.

Die Ergebnisse der Bewertungen wurden mit Hilfe der Stevens'sche Potenzfunktion bewertet. Dabei werden alle Werte und Parameter log-transformiert. Dadurch ist es möglich, ein doppellogarithmisches Diagramm der wahrgenommenen Dringlichkeit als Funktion der verschiedenen Parameter zu erstellen.

$$P = k * S^n$$

Formel 1: Stevens'sche Potenzfunktion

P ist hier die wahrgenommene Dringlichkeit des physikalischen Reizes S. Zu den physikalischen Größen zählen Frequenz des Grundtons, Schalldruckpegel und Taktfrequenz. „k“ ist eine Konstante und „n“ ist der Exponent. „n“ ist die Steigung der Ausgleichsgeraden, die durch die logarithmierten Werte der Bewertungen gelegt

⁶² vgl. Catchpole, 2004, S.764

⁶³ Übersicht der verwendeten Töne und Parameteränderungen siehe Abbildung 31 in Anhang A, S.67

⁶⁴ vgl. www.sengpielaudio.com/Manger-VerbesserteQuellenerkennungDAGA1998.pdf
(Gelesen am: 03.08.2013)

wird. Kleine n -Werte drücken sich in kleinen Änderungen der Dringlichkeit im Vergleich zur Stimulusänderung aus, wohingegen große n -Werte große Änderungen der Dringlichkeit im Vergleich zur Änderung des Reizes beschreiben.

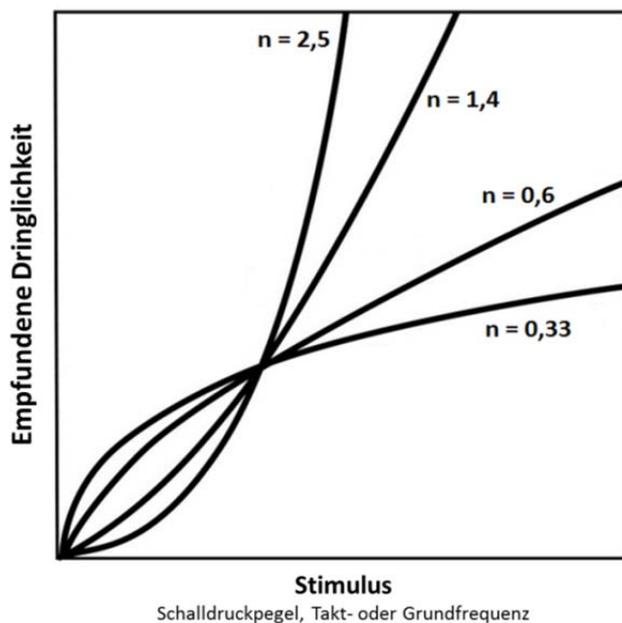


Abbildung 10: Psychophysikalische Kurven⁶⁵

Ausgehend von der steilsten Kurve ($n = 2.5$) in Abbildung 10 würde beispielsweise eine kleine Änderung des Schalldruckpegels eine große Änderung der empfundenen Dringlichkeit bewirken. Änderungen des Stimulus entlang der Abszisse würden hingegen bei der flachsten Kurve ($n = 0.33$) geringe Auswirkungen auf die wahrgenommene Dringlichkeit haben.

In vier Experimenten wurde der Einfluss der drei Parameter Grundfrequenz, Schalldruckpegel und Taktfrequenz untersucht. In Experiment 1 und 2 wurden alle Parameter variiert und in zufälliger Reihenfolge wiedergegeben. In Experiment 3 und 4 wurden nur mehr Takt- und Grundfrequenz bewertet und die Abspielreihenfolge erfolgte streng geordnet in Blöcken. Der große Exponent des Schalldruckpegels ($n = 3.8$) in Experiment 1 sticht sofort ins Auge, während der von Takt- und Grundfrequenz ($n = 0.51$ bzw. $n = 0.54$) beinahe gleich ist. In Experiment 2 fällt der Exponent des Schalldruckpegels ($n = 2.6$) wiederum hoch aus. Der Exponent der Taktfrequenz ($n = 0.47$) ist annähernd unverändert geblieben, während der Exponent der Grundfrequenz ($n = 0.28$) abgefallen ist. Takt- und Grundfrequenz könnten im Vergleich zum Schalldruckpegel als weniger dringend empfunden werden. Die hohen Exponenten des Schalldruckpegels aus Experiment 1 und 2 ließen vermuten, dass die Kandidaten ihre Aufmerksamkeit auf die Beurteilung von Takt- und Grundfrequenz gerichtet haben. Besonders innerhalb lauter Umgebungen war die

⁶⁵ vgl. http://www.intropsych.com/ch04_senses/psychophysical_functions.html
(Gelesen am: 05.08.2013)

Pegelerhöhung kein adäquater Parameter um Dringlichkeit auszudrücken. Warntöne sollten zumindest 15 Dezibel über dem Umgebungslärm liegen und nicht leiser als 65 Dezibel sein.⁶⁶ Vor allem in lauten Umgebungen sind der Variation des Schalldruckpegels somit Grenzen gesetzt. Die Beurteilung des Schalldruckpegels wurde wegen der hohen Exponenten in den weiteren Experimenten ausgenommen, damit der Einfluss von Takt- und Grundfrequenz besser untersucht werden konnte. In Experiment 3 fiel der Exponent der Taktfrequenz mit $n = 0.77$ und der der Grundfrequenz mit $n = 0.10$ aus. Der starke Abfall des Exponenten der Grundfrequenz scheint auf die getrennte Bewertung der Stimuli zurückzuführen sein. In Experiment 1 und 2 wurden die 21 zur Verfügung stehenden Warntöne zufällig abgespielt. In Experiment 3 wurden die Warntöne nach Parametern (Takt- und Grundfrequenz) geordnet. Die Testteilnehmer könnten dadurch irritiert gewesen sein und ihre Bewertungen auf die Änderung der Grundfrequenz ausgerichtet haben, obwohl in diesem Block die Änderung der Taktfrequenz zu bewerten war. Die ebenfalls große Differenz des Exponenten der Taktfrequenz im Vergleich zu Experiment 2 (Zunahme um ca. 60 %) bekräftigt die Annahme, dass die Variation des Schalldruckpegels die Teilnehmer unter Bewertungsdruck gesetzt hat. Experiment 4 basierte auf den gleichen Bedingungen wie Experiment 3. Der Exponent der Taktfrequenz ($n = 0.50$) fiel kleiner und jener der Grundfrequenz ($n = 0.38$) höher aus als zuvor. Die deutlichen Änderungen beider Werte wurden der Abspielreihenfolge der Blöcke zugeordnet. Den höchsten Exponenten ($n = 0.77$) lieferte Experiment 3. Die statistische Auswertung ergab keine Überschneidung mit Experiment 2. Abgesehen davon ergaben die Exponenten ein ähnliches Ergebnis.

| | Exponenten | | |
|--------------|-------------|--------------|---------------|
| | Schalldruck | Taktfrequenz | Grundfrequenz |
| Experiment 1 | 3.8 | 0.51 | 0.54 |
| Experiment 2 | 2.6 | 0.47 | 0.28 |
| Experiment 3 | - | 0.77 | 0.10 |
| Experiment 4 | - | 0.50 | 0.38 |

Tabelle 4: Überblick über die Exponenten aller 4 Experimente

Diese Untersuchung glich im Aufbau exakt jener, die Hellier et al. (1993)⁶⁷ vor 20 Jahren bereits durchgeführt hatte. Auffällig ist der große Unterschied zu Hellier's Untersuchung, der ein Hinweis auf den schwächer gewordenen Zusammenhang zwischen wahrgenommener Dringlichkeit und Taktfrequenz in den letzten zwei Jahrzehnten sein könnte. Die Exponenten der Grundfrequenz streuten viel mehr als die Exponenten der Taktfrequenz. Experiment 4 ergab den identen Exponenten wie in der Studie von Hellier. Der Zusammenhang zwischen Grundfrequenz und wahrgenommener Dringlichkeit hatte sich über die Zeit weniger geändert als der

⁶⁶ vgl. DIN EN ISO 7731:2008, S.10

⁶⁷ Hellier, E.; Edworthy, J.; Dennis, I.: Improving auditory warning design: Quantifying and predicting the effects of different warning parameters on perceived urgency, in: *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, (35) 1993, S.693-706

Zusammenhang von wahrgenommener Dringlichkeit und Taktfrequenz. Die Taktfrequenz erweist sich unter homogenen und heterogenen Alarmbedingungen nach wie vor als geeigneter Parameter, um Dringlichkeit in Warnungen auszudrücken. Unter heterogen sind hier die Bedingungen aus Experiment 1 und 2 zu verstehen, in denen die Töne keinen Blöcken zugeordnet waren. Der schwächer gewordene Einfluss der Taktfrequenz auf die empfundene Dringlichkeit lässt sich durch die vermehrte Einbindung von Technologie in unser tägliches Leben und die damit verbundene Desensibilisierung erklären. Zeitliche Muster helfen dem Menschen beim Unterscheiden von Tönen und heben die Taktfrequenz als wichtigen Parameter bei der Einstufung von empfundener Dringlichkeit hervor. Änderungen der Grundfrequenz alleine waren für den Menschen schwer zu unterscheiden. Die Reihenfolge der Bewertungen hatte sich in den Experimenten ebenfalls als großer Einflussfaktor herausgestellt und die Schwankungen der Grundfrequenz-Exponenten könnten durch die Überlagerung mehrerer Töne erklärt werden. Dringlichkeit über die Änderung der Grundfrequenz zu signalisieren ist besonders unter uneinheitlichen Bedingungen nicht ideal. Dennoch ist interessant, dass die Änderung der Grundfrequenz unter homogenen Bedingungen (Experiment 4) den gleichen Exponenten wie in Hellier's Studie ergab. Grundsätzlich gilt zu sagen, dass Alarme innerhalb homogener und heterogener Umfelder unterschiedliche Auswirkungen auf die empfundene Dringlichkeit haben. Ferner ist die Taktfrequenz der verlässlichste akustische Parameter, wenn es um gezielte Übermittlung von Dringlichkeit geht.

Ein ähnlicher Versuch wurde mit Signalen durchgeführt, die aus vier Impulsen bestanden. Die Impulse wurden durch Pausen von 0 Millisekunden, 250 Millisekunden und 500 Millisekunden getrennt. Die Grundfrequenz jeder Einheit war entweder 200 Hertz, 500 Hertz oder 800 Hertz und enthielt jeweils die ersten vier Harmonischen. Das heißt, der Ton mit der Grundfrequenz von 800 Hertz beinhaltete Komponenten von 1600 Hertz, 2400 Hertz, 3200 Hertz und 4000 Hertz. Die Impulse dauerten 350 Millisekunden mit jeweils 25 Millisekunden On- und Offset. Somit betrug die minimale Signallänge 1.4 Sekunden (0 Millisekunden Pause zwischen den Impulsen) und maximal 3.4 Sekunden (500 Millisekunden Pause zwischen den Impulsen). Der Schalldruckpegel der ausgestrahlten Alarme lag bei 5 Dezibel, 25 Dezibel und 40 Dezibel über dem Umgebungslärmpegel, der durchschnittlich 36 Dezibel betrug. Grundfrequenz, Pausen zwischen den Impulsen und Schalldruckpegel beeinflussen die Dringlichkeit des Alarmsignals. Signale mit einer Grundfrequenz von 200 Hertz klangen weniger dringend als Signale mit 500 und 800 Hertz. Warnsignale mit Pausen von 500 Millisekunden wurden weniger dringend empfunden als Impulsfolgen mit 250 Millisekunden und 0 Millisekunden Pause. Signale, die ausschließlich durch On- und Offset getrennt waren, wurden in der wahrgenommenen Dringlichkeit am höchsten bewertet (Abbildung 11).

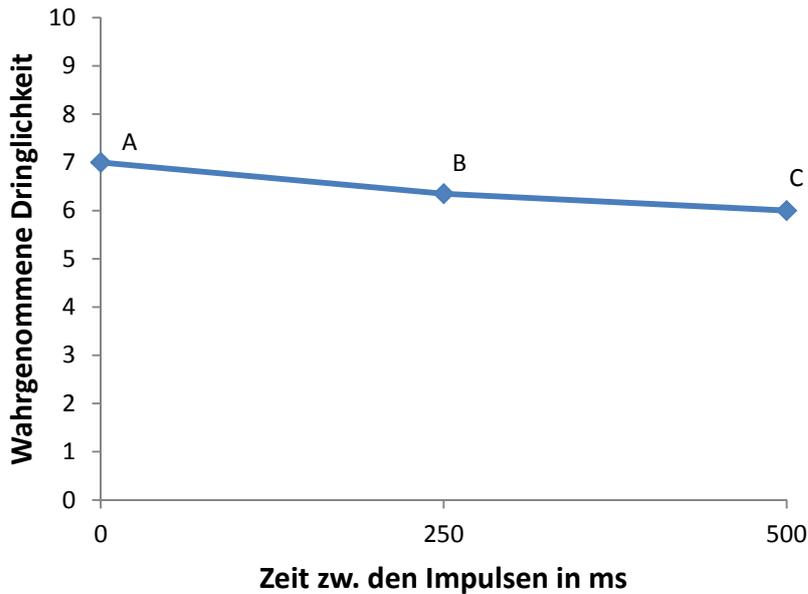


Abbildung 11: Empfundene Dringlichkeit in Abhängigkeit der Pausen zwischen den Impulsen (unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen statistisch signifikante Unterschiede zueinander)⁶⁸

Der Schalldruckpegel beeinflusste die Dringlichkeit gleichermaßen. Je höher der Schalldruckpegel über dem Umgebungspegel lag, desto höher wurde der Ton in seiner Dringlichkeit eingestuft.

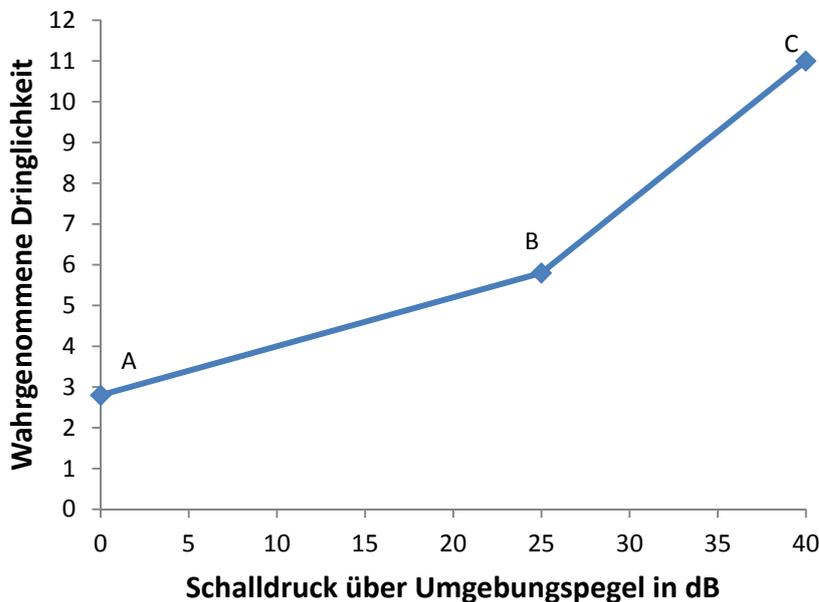


Abbildung 12: Empfundene Dringlichkeit in Abhängigkeit vom Schalldruckpegel (unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen statistisch signifikante Unterschiede zueinander)⁶⁹

Die drei Parameter Grundfrequenz, Impulspause und Schalldruckpegel haben Einfluss auf die Dringlichkeit eines Warnsignals. Impulsfolgen mit einer

⁶⁸ vgl. Haas, 1996, S.196

⁶⁹ vgl. ebenda, S.197

Grundfrequenz von 800 Hertz, einem Schalldruckpegel von 40 Dezibel über dem Umgebungspegel und keiner Pause zwischen den Impulsen (nur On- und Offset) wurden bezüglich Dringlichkeit höher als andere Tonfolgen eingestuft. Impulsfolgen mit dem kleinsten Schallpegel (5 Dezibel über Umgebungspegel) wurden unabhängig von Grundfrequenz und Impulspause als am wenigsten dringend empfunden. Die wahrgenommene Dringlichkeit steigt mit der Anhebung der Grundfrequenz und fällt mit der Abnahme der Impulspausen. Signifikante Unterschiede ergab die Erhöhung der Grundfrequenz von 200 auf 500 Hertz, jedoch keine von 500 auf 800 Hertz. Durchgängig signifikante Unterschiede ergaben die Änderung der Impulspausen und Schalldruckpegel (Abbildung 11 und Abbildung 12). Bezüglich der Reaktionszeit hatten Grundfrequenz und Impulspause maßgeblichen Einfluss auf die empfundene Dringlichkeit. Impulsfolgen mit einer Grundfrequenz von 800 Hertz erzielten kürzere Reaktionszeiten als Impulsfolgen mit einer Grundfrequenz von 200 Hertz (Abbildung 13).

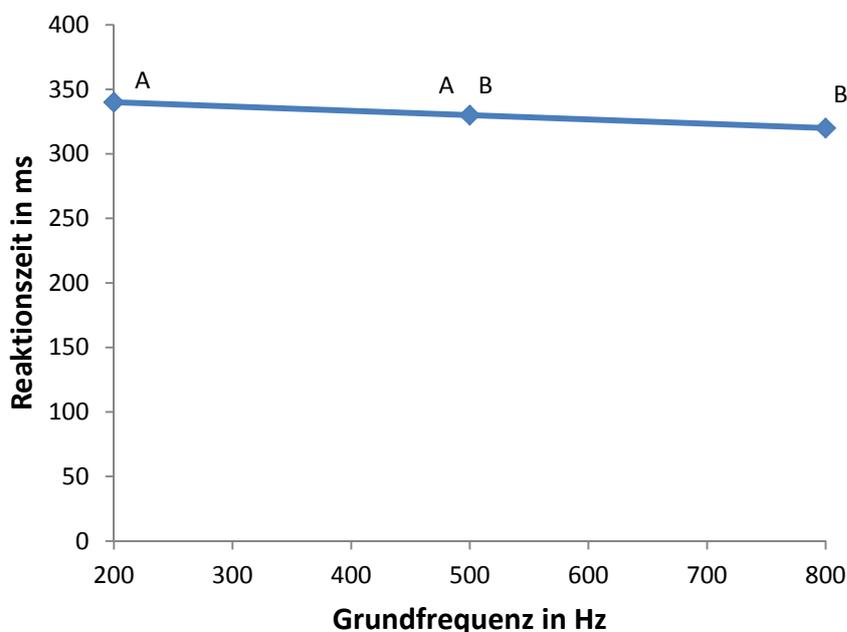


Abbildung 13: Reaktionszeit in Abhängigkeit der Grundfrequenz (unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen statistisch signifikante Unterschiede zueinander)⁷⁰

Ein eindeutiges Ergebnis erbrachte die Variation des Schalldruckpegels. Pegel von 40 Dezibel über Umgebungslärm ergaben die kürzesten Reaktionszeiten, gefolgt von 25 Dezibel und 5 Dezibel. Die schnellste Reaktion wurde dem Signal mit einer Grundfrequenz von 500 Hertz, keiner Impulspause und 40 Dezibel über Umgebungslärm zugeordnet.

⁷⁰ vgl. Haas, 1996, S.197

3.1.3 Signaldauer⁷¹

Der Einfluss von Signaldauer und Reaktionszeit im Kontext unterschiedlicher Alarmraten wurde im Zuge dieser Studie untersucht. Die Alarme wurden akustisch und visuell ausgegeben. Die akustische Ausgabe des Signals dauerte entweder 1 oder 4 Sekunden, während zur selben Zeit das Wort „Warnung“ auf dem Bildschirm zu sehen war. Es gab zwei Gruppen mit unterschiedlichen Alarmraten. Abhängig von der Gruppe waren 60 % oder 80 % der Alarme tatsächlich richtige Alarme und keine Fehlalarme. Der Schalldruckpegel der Warnung wurde mit 65 Dezibel bei ungefähr 45 Dezibel Umgebungslärmpegel ausgestrahlt. Abbildung 14 zeigt den Anteil an Alarmen, auf die in Abhängigkeit von Alarmdauer und Block reagiert wurde. Die Grafik zeigt deutlich, dass die Teilnehmer ungeachtet der Alarmrate öfter auf länger andauernde Reize als auf kurze reagierten.

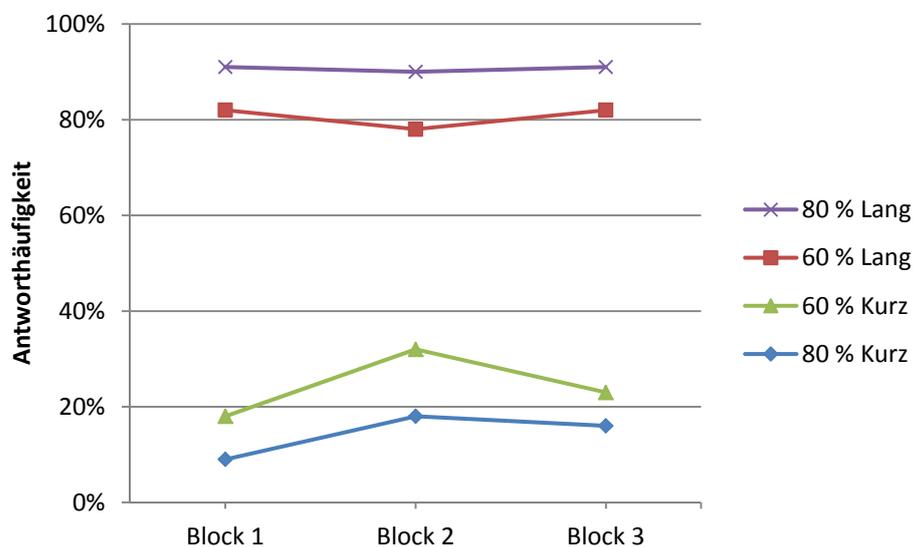


Abbildung 14: Reaktionshäufigkeit auf die Alarmsignale als Funktion von Signaldauer, Alarmrate und Test-Block⁷²

Ebenso reagierten die Teilnehmer auf Langzeitsignale mit kürzeren Reaktionszeiten, jedoch war die Differenz in der Reaktionszeit zwischen Lang- und Kurzzeitalarmen in der Gruppe der 80 %-Alarmrate größer. Weiters war zu sehen, dass Reaktionen bei den Langzeitalarmsignalen (4 Sekunden) wesentlich schneller erfolgten. Der Einfluss der Alarmrate war nicht maßgeblich. Die Einflüsse auf die Reaktionsbereitschaft und die Entscheidung, ob ein Alarm als wahr oder falsch eingestuft wird, war mehr vom Wissen über die Alarmrate als von der Signaldauer abhängig. Die Wirkung der Signaldauer und Alarmrate auf die Repräsentativität eines Alarms wurden ebenso bestimmt (Abbildung 15). Das längere Signal korrespondierte mit der persönlichen Vorstellung der Teilnehmer von einem gültigen Alarmsignal. Die Beziehung zwischen

⁷¹ vgl. Bliss, 2007, S.192ff.

⁷² vgl. ebenda, S.193

Alarmrate und -dauer ergab keine aussagekräftigen Ergebnisse. Zudem war die Alarmrate als alleiniger Einflussfaktor nicht maßgeblich.

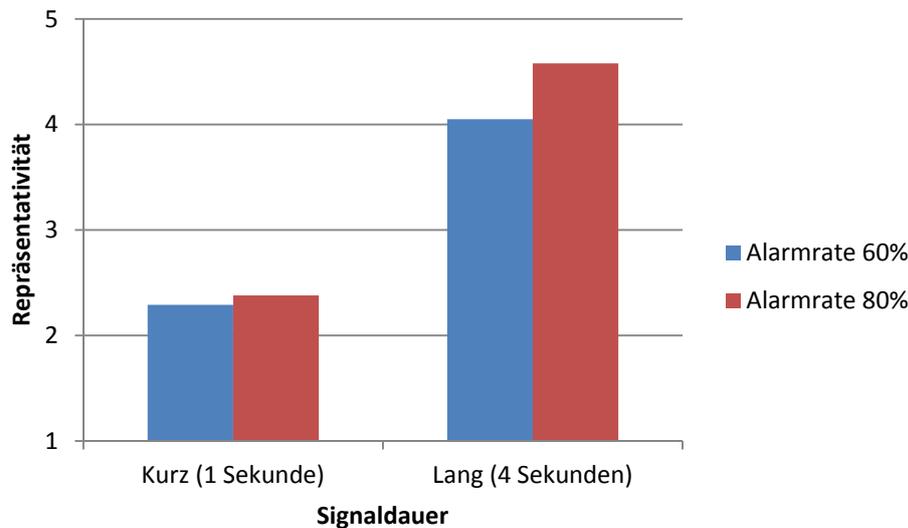


Abbildung 15: Repräsentativität von Signalen als Funktion von Dauer und Alarmrate⁷³

Länger andauernde Signale wurden als gültige Alarmsignale wahrgenommen und deckten sich mit den inneren Vorstellungen. Das Wissen der Alarmrate hatte keinen Einfluss auf den Entscheidungsprozess. Stattdessen spielte die Dauer der Alarmsignale in allen drei Versuchsblöcken eine herausragende Rolle. In Abbildung 14 sind zudem Änderungen in den Bewältigungsstrategien ersichtlich. Es ist ersichtlich, dass die Mitwirkenden in Block 2 und 3 vermehrt auf das kurze Alarmsignal (1 Sekunde) in Vergleich zu Block 1 reagierten. Dennoch spricht dieses Ergebnis für keinen starken Lerneffekt. Die Teilnehmer stützten ihre Entscheidungen vielmehr auf die Annahme, dass die Signaldauer ein Indikator für einen ernst zu nehmenden Alarm ist und das, obwohl die Versuchsleiter am Anfang eines jeden Blockes auf die Alarmrate explizit hingewiesen hatten.

3.2 Taktile Warnungen⁷⁴

Fünf Parameter wurden festgelegt, um die Einflüsse von Vibrationen auf den Menschen beschreiben zu können:

- Frequenz und Amplitude
- Bewegungsmuster
- Position und Ausrichtung der Vibratoren
- Rhythmus

Der verwendete Sitz war mit 1.2 Millimeter dickem Leder überzogen, darunter 8.8 Millimeter dicker Schaumstoff. Der Sitz bestand aus Sitzschale, Rückenlehne und

⁷³ vgl. Bliss, 2007, S.194

⁷⁴ vgl. Ji, 2011, S.308ff.

Seitenkissen. Die Seitenführungskissen waren Bereiche, die von Körperteilen eines Sitzenden nicht direkt berührt wurden.



Abbildung 16: Position der Vibratoren im Autositz⁷⁵

Die von der Sitzschale und Rückenlehne erzeugten taktilen⁷⁶ Reize wurden direkt durch Vibrationen in den Seitenführungskissen und indirekt über Sitzschale und Rückenlehne an den Sitzenden übermittelt. Die Vibrationen wurden mit handelsüblichen Exzentermotoren, wie sie auch in Handys vorkommen, erzeugt. Der hier verwendete Motor hatte einen Durchmesser von 27.5 Millimeter bei einer Länge von 37.8 Millimeter. Die Exzentermasse betrug 11.28 Gramm. Die Frequenz und Amplitude des Exzentermotors wurden über die Drehzahl bestimmt. Die Werte von Frequenz und Amplitude wurden in den Experimenten aus der Eingangsspannung berechnet und sind keine auf der Sitzoberfläche gemessenen Werte. Die Bereiche mit der durchschnittlich größten Druckverteilung wurden mit Drucksensoren ermittelt und waren für die Positionierung der Exzentermotoren ausschlaggebend. Die Vibratoren wurden ungefähr 1 Zentimeter unter der Sitzoberfläche angebracht.

3.2.1 Frequenz und Amplitude

Wahrnehmungsschwelle und Vibrationsintensität wurden über die Frequenz und Amplitude der Exzentermotoren ermittelt. Zum einen wurde die Grenze ermittelt, ab der Vibrationen wahrgenommen werden und zum anderen wurde die Intensität erhoben, die von den Teilnehmern als angemessen eingestuft wurde. Die Wahrnehmungsgrenze wurde in der Rückenlehne und Sitzschale in Abhängigkeit von der Abstrahlungsrichtung der Vibratoren gemessen. Die Abstrahlungsrichtung bezeichnete, wie die Welle des Exzentermotors zur Oberfläche der Sitzschale oder der Rückenlehne ausgerichtet war. Vertikal bedeutete, dass die Welle im rechten Winkel auf die Oberfläche von Sitzschale oder Rückenlehne zeigte, während Horizontal die parallele Ausrichtung meinte. Indirekt bedeutet, dass die in den Seitenführungskissen erzeugten Vibrationen indirekt über Sitzschale oder Rückenlehne an den Fahrer weitergegeben werden. Die Wahrnehmungsschwelle

⁷⁵ vgl. Ji, 2011, S.309

⁷⁶ taktil: den Tastsinn betreffend (vgl. Duden – Das Fremdwörterbuch, 2010)

rangierte von 13.12 Hertz / 0.62 G bis 16.22 Hertz / 0.87 G. Die niedrigsten Werte wurden in der Sitzschale bei horizontaler Ausrichtung und die höchsten in der Rückenlehne bei vertikaler Ausrichtung festgestellt (Abbildung 17). Frauen und jüngere Personen (zw. 20 und 39 Jahren) reagierten auf Vibrationen grundsätzlich sensibler als Männer und ältere Personen (zw. 40 und 59 Jahren).

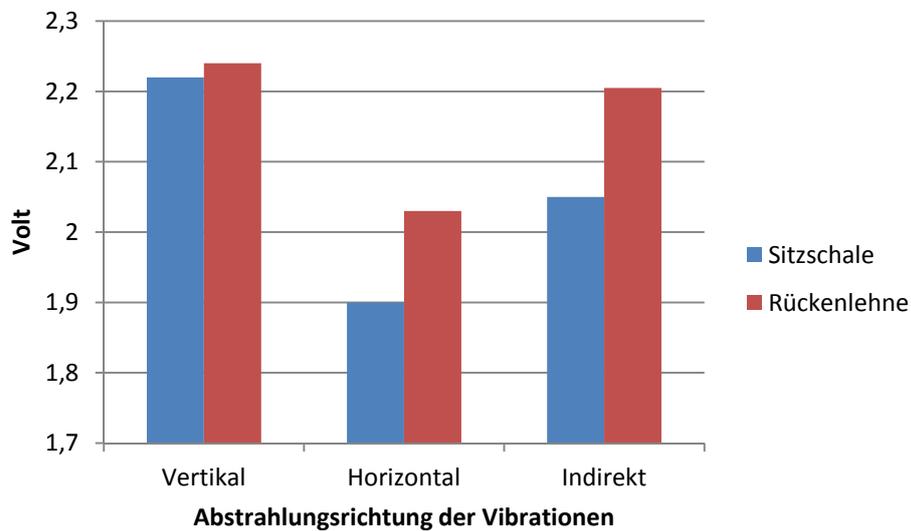


Abbildung 17: Wahrnehmungsschwelle von Vibrationen⁷⁷

Mehr als die Hälfte der Teilnehmer empfand die Vibrationsintensität zwischen 26.07 Hertz / 2.02 G (3.5 Volt) und 34.21 Hertz / 3.38 G (4.5 Volt) als angemessen. Ab 38.28 Hertz und 4.21 G (5 Volt) war ein klarer Rückgang bei der als „angemessen“ eingestuften Intensität zu verzeichnen.

3.2.2 Bewegungsmuster

Die Bewegungsmuster wurden über den Mindestabstand zwischen zwei Vibratoren ermittelt. Das ist jener Abstand, bei dem Vibrationen zweier Vibratoren noch getrennt wahrgenommen werden können und dient der Erzeugung von Bewegungsmustern. Durch gezielte Ansteuerung mehrerer Vibratoren wird dem Fahrer ein Gefühl von „Bewegung“ vermittelt. Hierbei wurde die vertikale Abstrahlungsrichtung der Vibratoren gewählt, weil ihr bei der Bestimmung der Wahrnehmungsschwelle die höchsten Intensitäten zugeordnet wurden (Abbildung 17). Zwei Reize wurden als getrennt wahrgenommen gewertet, wenn 75 % der Teilnehmer zustimmten. Das ergab bei 30.14 Hertz / 2.65 G (4 Volt) einen Mindestabstand von 8 Zentimeter in der Sitzschale und 9 Zentimeter in der Rückenlehne. Die 30.14 Hertz / 2.65 G (4 Volt) wurden im Versuch der Intensitätsbestimmung als am angenehmsten bewertet und dienten als Referenz.

⁷⁷ vgl. Ji, 2011, S.314

3.2.3 Position und Ausrichtung

Position und Abstrahlungsrichtung der Vibratoren wurden ebenfalls ermittelt. Der Aufbau war dem Intensitätsbestimmungs-Test (Frequenz und Amplitude) ähnlich. Die Reizdauer betrug 200 Millisekunden und die gewählte Spannung betrug wiederum 4 Volt. Die Ergebnisse zeigten, dass die indirekte Abstrahlungsrichtung in der Sitzschale und die horizontale in der Rückenlehne bevorzugt wurden.

3.2.4 Rhythmus

Die Muster variierten in der Vibrationsdauer (1 Sekunde, 2 Sekunden, 3 Sekunden) und in den Pausen (0.5 Sekunden, 1 Sekunde, 1.5 Sekunden, 2 Sekunden). Die Spannung wurde wieder auf den Referenzwert von 4 Volt bei horizontaler Abstrahlungsrichtung festgelegt. Das Rhythmusmuster mit 3 Sekunden Reizdauer bei 0.5 Sekunden Pause erhielt die Höchstbewertung, während der Rhythmus mit 3 Sekunden Reizdauer bei 2 Sekunden Pause am wenigsten Punkte bekam. Dies weist darauf hin, dass lange Reize mit kurzen Pausen bevorzugt werden.

3.3 Multimodale Alarme

3.3.1 Optische und akustische Alarme⁷⁸

Die visuellen Parameter waren Farbe (Rot, Gelb, Blau), Blinkfrequenz (1 Hertz, 2 Hertz, 3 Hertz, 4 Hertz) und Blinkmodus (1-fach, 2-fach, 3-fach). Die Details von Blinkfrequenz und Blinkmodus sind Tabelle 5 zu entnehmen.

| Blinkmodus | Blinkfrequenz in Hz | Zeitdauer Ein pro Periode in s | Zeitdauer Aus pro Periode in s |
|------------|---------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 1-fach | 1 | 0.500 | 0.500 |
| | 2 | 0.250 | 0.250 |
| | 3 | 0.167 | 0.167 |
| | 4 | 0.125 | 0.125 |
| 2-fach | 1 | 0.167 | 0.167 |
| | 2 | 0.083 | 0.083 |
| | 3 | 0.056 | 0.056 |
| | 4 | 0.042 | 0.042 |
| 3-fach | 1 | 0.100 | 0.100 |
| | 2 | 0.050 | 0.050 |
| | 3 | 0.033 | 0.033 |
| | 4 | 0.025 | 0.025 |

Tabelle 5: Blinkfrequenz und Blinkmodus im Detail⁷⁹

⁷⁸ vgl. Chan, 2009, S.348ff.

⁷⁹ vgl. ebenda, S.348

Die akustischen Reize bestanden aus einer Sirene, einem Summer und einem Sicherheitsalarm (Tabelle 6).

| | Sirene | Summer | Sicherheitsalarm |
|-----------------------|----------|-----------|------------------|
| Frequenzbereich in Hz | 400-2000 | 1250-4000 | 250-3000 |
| Taktfrequenz in Hz | 1.25 | 2.5 | 0.83 |
| Impulslänge in s | 0.8 | 0.2 | 0.4 |
| Anstiegszeit in s | 0.4 | 0.1 | 0.01 |
| Abfallzeit in s | 0.4 | 0.1 | 0.01 |
| Schalldruck in dB | 64 | 56 | 61 |

Tabelle 6: Übersicht über die akustischen Reize (exklusive Testzustand „Stille“)⁸⁰

Die Farbe Rot signalisiert mit großem Abstand den höchst empfundenen Gefährdungsgrad. Blinkfrequenzen mit 4 Hertz und 3-fach Blinkmodus wurden am gefährlichsten eingestuft. Der Ton der Sirene wurde am gefährlichsten empfunden, während kein Ton das Schlusslicht bildete. Die höchste Bewertung erhielt das rote, im 2-fach Modus bei 4 Hertz mit Sirenenalarm kombinierte Signal. Die Farbe Rot wurde im Vergleich zu Blau und Gelb am häufigsten benutzt, um Gefahrensituationen zu kennzeichnen. Rot war eine aussagekräftige Farbe und wurde schnell mit Gefahr assoziiert. Im Vergleich zu 2 Hertz, 3 Hertz und 4 Hertz war die Blinkfrequenz von 1 Hertz nicht hoch genug, um Bedrohung zu signalisieren. Blitzlichter mit höheren Frequenzen zogen mehr Aufmerksamkeit auf sich. Darauf ließ sich der signifikante Unterschied in der Bewertung von 2 Hertz und 4 Hertz zurückführen. Der Unterschied zwischen 2 Hertz und 3 Hertz sowie zwischen 3 Hertz und 4 Hertz war als Abstufung für die Visualisierung von Gefahrenstufen nicht geeignet, weil der Signalverarbeitungsprozess des Menschen nicht empfindlich genug ist, um solche kleine Änderungen zu erkennen.

Pausen zwischen den Blinkzeichen waren effektiver als kontinuierliches Blinken. Zwischen dem 2-fach und 3-fach Modus konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Kein Ton wurde als am wenigsten besorgniserregend bewertet und unterstrich die Notwendigkeit akustischer Alarmsignale. Der nichtsignifikante Unterschied zwischen Sicherheitsalarm und Sirene sowie zwischen Sicherheitsalarm und Summer machten deutlich, dass akustische Alarme alleine nicht ausreichten, um unterschiedliche Gefahrenstufen anzuzeigen. Die akustischen Parameter (Tabelle 6) der drei Signale waren unterschiedlich und zeigten, dass längere Anstiegs- und Abfallzeiten, länger andauernde Tonimpulse und höhere Schalldruckpegel am effektivsten waren. Dieses Ergebnis unterstrich die Überlegenheit des Sirenenalarms. Grundsätzlich zeigt Abbildung 18, dass das wahrgenommene Gefahrenpotenzial mit zunehmender Blinkfrequenz, ungeachtet der Farbe, steigt. Blau und Gelb signalisieren bei 1 Hertz und 2 Hertz ungefähr dasselbe Maß an Gefahr, wohingegen bei 3 Hertz und 4 Hertz die Farbe Blau gegenüber der Farbe Gelb im Vorteil ist.

⁸⁰ vgl. Chan, 2009, S.348

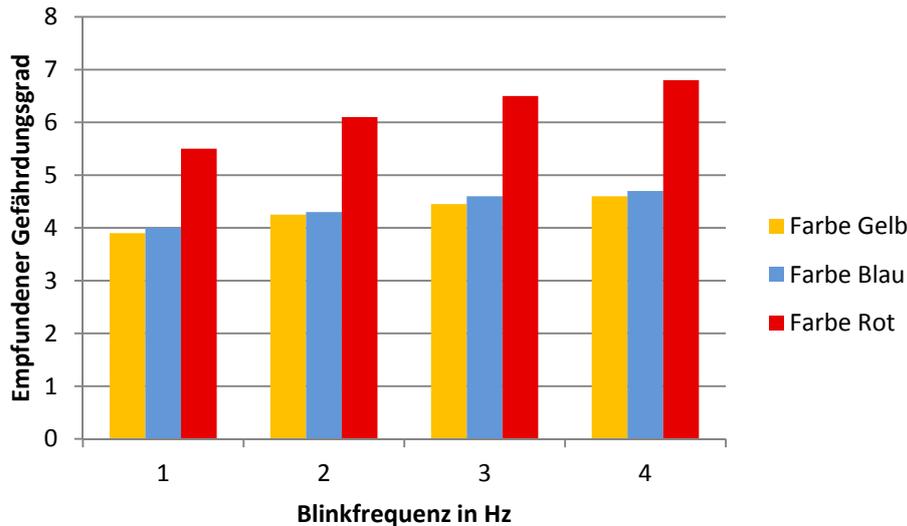


Abbildung 18: Gefährdungsgrad als Funktion der Blinkfrequenz und Farbe⁸¹

Der Zusammenhang von Farbe und Blinkmodus zeigte ein ähnliches Ergebnis. Der Gefährdungsgrad stieg bei allen drei Farben mit zunehmendem Blinkmodus. Unter den Farben hatte Rot die meiste Aussagekraft. Die Zugabe von Ton-Signalen erhöhte die Effektivität der Farb-Signale erheblich. Dabei war die Form des akustischen Signals nicht ausschlaggebend. Akustische und visuelle Reize unterstützten einander und waren gemeinsam in der Lage, ein höheres Gefahrenpotenzial zu signalisieren, als ein Reiz für sich alleine. Auch hier dominierte die Farbe Rot wieder. Blau und Gelb implizierten in Verbindung mit akustischen Alarmen das gleiche Maß an Gefahr, wie Rot ohne akustische Signale.

Rot und Grün sollten fixe Bestandteile einer jeden Signalanlage zur Informationsübermittlung sein. Signalsysteme mit drei Farben sollten neben Rot und Grün die Zwischenfarben Gelb *oder* Weiß und beim Gebrauch von vier Farben Gelb *und* Weiß beinhalten. Signalsysteme mit fünf Farben sollten zusätzlich die Nebenfalten Blau *oder* Violett enthalten. Mehr als fünf Farben sind nicht zu empfehlen, da die Unterscheidung von den Farben Blau und Violett nicht ausreichend gegeben ist. Je weniger Farben in einem Signalsystem benutzt werden und je näher die Farbbereiche am Spektralfarbenzug angeordnet sind, desto geringer ist die Wahrscheinlichkeit einer Verwechslung.⁸²

⁸¹ vgl. Chan, 2009, S.349

⁸² vgl. DIN 6163:1975, S.1f.

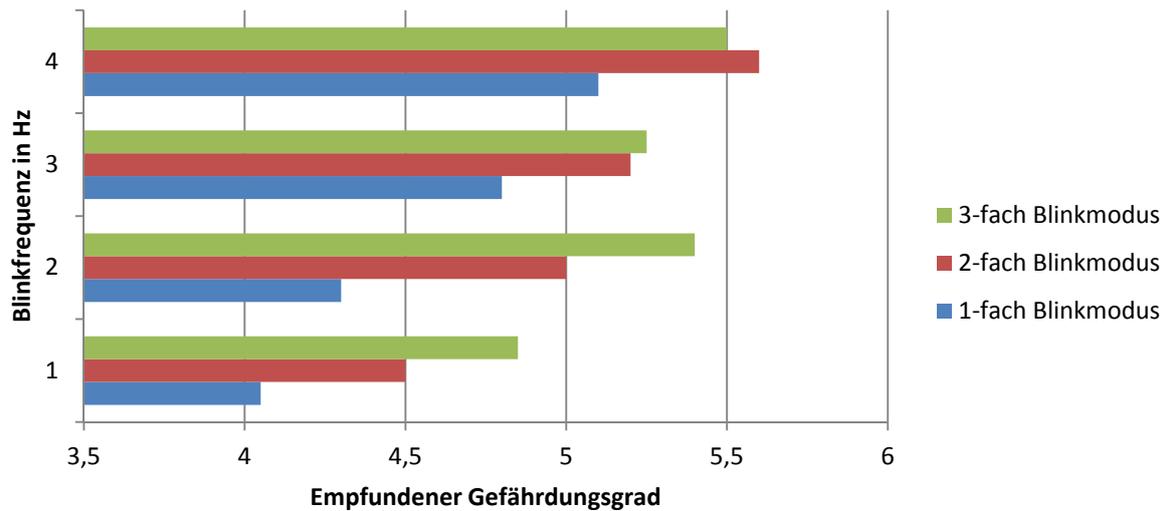


Abbildung 19: Gefährdungsgrad als Funktion der Blinkfrequenz und des Blinkmodus⁸³

Wie Abbildung 19 zeigt, stieg der wahrgenommene Gefährdungsgrad mit zunehmender Blinkfrequenz und steigendem Blinkmodus. Lediglich im 3-fach Blinkmodus nahm der subjektiv wahrgenommene Gefährdungsgrad ab und fiel bei 4 Hertz unter den Wert im 2-fach Blinkmodus. Das könnte darauf hinweisen, dass die Kombination aus 3-fach Blinkmodus und hoher Blinkfrequenz nervend wirkte und die notwendige Aufmerksamkeit eines Alarms überstieg. Die Effektivität ließ sich im 3-fach Blinkmodus nicht durch die Erhöhung der Blinkfrequenz steigern.

⁸³ vgl. Chan, 2009, S.349

3.3.2 Synchroner und asynchroner Alarme⁸⁴

Die Auswirkungen von akustischen und visuellen Reizen in synchroner und asynchroner Präsentationsfolge sind bei Alarmmeldungen ebenfalls von Interesse. Dazu wurden den Teilnehmern fünf verschiedene Stimuli vorgestellt, die aus akustischen und visuellen Komponenten bestanden (Abbildung 20).

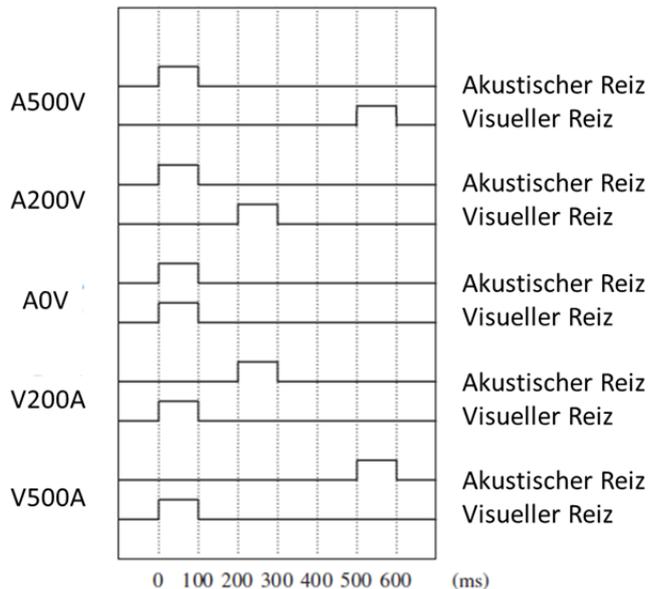


Abbildung 20: Synchroner und asynchroner, akustischer und visueller Reize (A500V bedeutet, dass das (A)kustische Signal (500) Millisekunden vor dem (V)isuellen ausgestrahlt wird)⁸⁵

Der akustische und visuelle Reiz wurde entweder gleichzeitig oder zeitversetzt ausgegeben. Es gab ein synchrones und vier asynchrone Signale. Die asynchronen Signale waren 200 Millisekunden und 500 Millisekunden zeitversetzt, wobei die Reihenfolge der akustischen und visuellen Reize wechselte. Die Teilnehmer sahen auf einem Bildschirm einen grünen Punkt, der als visueller Anhaltspunkt und als Vorwarnung diente. Abhängig von der Vorwarnzeit erschien der grüne Punkt 1-4 Sekunden bevor der erste Reiz, visuell oder akustisch, wahrnehmbar war. Der visuelle Stimulus wurde dann ebenfalls neben dem grünen Kreis links oder rechts am Bildschirm als roter Kreis dargestellt. Der Ton hatte eine Frequenz von 790 Hertz bei 60 Dezibel und war per Kopfhörer entweder links oder rechts hörbar. Der Umgebungslärm war immer niedriger als 55 Dezibel. Die Reizdauer, egal ob akustisch oder visuell, betrug immer 100 Millisekunden. Die Tests wurden mit ungekreuzten und gekreuzten Unterarmen durchgeführt. Die Aufgabe der Testteilnehmer bestand in der Zuordnung des ersten wahrnehmbaren Reizes über die Taster vor dem Bildschirm. Die Personen reagierten mit geraden Unterarmen schneller als mit gekreuzten. Die Vorwarnzeit hatte ebenso Einfluss auf die Reaktionszeit. Die Reaktionszeiten sanken mit zunehmender Vorwarnzeit. Aus

⁸⁴ vgl. Chan, 2006, S.133ff.

⁸⁵ vgl. ebenda, S.134

Abbildung 21 ist ersichtlich, dass die Teilnehmer am schnellsten reagierten, wenn das akustische und visuelle Signal gleichzeitig abgespielt wurde.

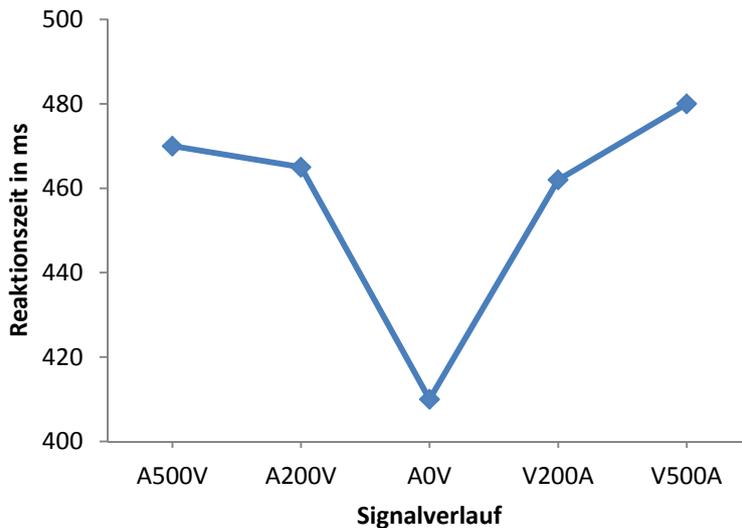


Abbildung 21: Reaktionszeit als Funktion von synchronen und asynchronen Signalverläufen⁸⁶

Die Reaktionszeit beim synchronen Signal war signifikant kürzer als die um 200 und 500 Millisekunden versetzten asynchronen Signalverläufe. Waren akustische und visuelle Reize zur gleichen Zeit an gegenüberliegenden Seiten wahrnehmbar, entschieden sich 81 % für die Seite mit dem visuellen Signal und 19 % für das akustische Signal. Bei der Ausstrahlung der beiden Signalformen auf derselben Seite war kein Unterschied im Vergleich zur Aussendung bei ungleichen Seiten festzustellen. Die Fehlerrate war bei gerader Unterarmhaltung geringer als bei gekreuzter Haltung. Die meisten Fehler wurden bei Vorwarnzeiten von 1 Sekunde gemacht. In Analogie zu den Reaktionszeiten nimmt die Fehlerrate mit steigender Vorwarnzeit ab. Die vermehrten Fehler waren offensichtlich beim asynchronen Signal begangen worden, bei dem der akustische Stimulus 200 Millisekunden vor dem visuellen einsetzte. Bei der Bewertung des synchronen Signalverlaufs wurden die wenigsten Fehler gemacht. Grundsätzlich wurden mehr Fehler gemacht, wenn die akustische Komponente zuerst zu vernehmen war. Die Teilnehmer machten bei den um 200 Millisekunden versetzten Signalen ungefähr doppelt so viele Fehler, wie bei denen mit 500 Millisekunden Verschiebung. Gleichzeitiges Aussenden der Signale auf der rechten Seite ergab sowohl hinsichtlich Reaktionszeit wie auch Fehlerquote bessere Ergebnisse. Die Ergebnisse zeigten, dass Bedienschalter gemäß der natürlichen, nicht überkreuzten Unterarmhaltung angeordnet sein sollten. Vorwarnzeiten von mindestens 1 Sekunde oder länger helfen dem Ausführenden, sich vor Handlungsbedarf auf die Situation einzustellen. Die Bereitstellung von redundanten Informationen über mehrere sensorische Kanäle hilft Reaktionszeiten und Fehlerquoten zu verbessern und unterstreicht die Überlegenheit der synchronen

⁸⁶ vgl. Chan, 2006, S.136

Ausstrahlung von akustischen und visuellen Stimuli. Bei der Wahrnehmung von akustischen und visuellen Stimuli auf der gleichen Seite ist die rechte Seite der linken vor zu ziehen. In asynchronen Signalformen sollte die visuelle Komponente vor der akustischen wahrnehmbar sein und die zeitliche Verschiebung über den Reaktionszeiten der beiden Signalkategorien liegen.

3.3.3 Vergleich von akustischen, visuellen und haptischen Signalen⁸⁷

Akustische, visuelle und haptische Taktfrequenzen wurden untereinander verglichen und ihre Auswirkungen auf die empfundene Dringlichkeit bewertet. Die Bewertung erfolgte mit dem Stevens'schen Potenzgesetz, das bereits in Kapitel 3.1.2 Anwendung fand. Die akustische Taktfrequenz wurde mittels sechs Basis-Takten gebildet. Der Basis-Takt bestand aus einem 200 Millisekunden langen Sinuston mit einer Grundfrequenz von 300 Hertz mit 15 Harmonischen und jeweils 20 Millisekunden On- und Offset am Beginn und Ende des Basis-Taktes. Der Schalldruckpegel betrug 75 Dezibel.

| Impulsdauer in ms | Impulspause in ms | Periodendauer in ms | Taktfrequenz in Hz |
|-------------------|-------------------|---------------------|--------------------|
| 200 | 475 | 675 | 1.48 |
| 200 | 302 | 502 | 1.99 |
| 200 | 238 | 438 | 2.28 |
| 200 | 118 | 318 | 3.14 |
| 200 | 60 | 260 | 3.85 |
| 200 | 50 | 250 | 4.00 |
| 200 | 9 | 209 | 4.78 |

Tabelle 7: Auflistung der akustischen und visuellen Details sowie den Impulspausen zwischen den haptischen Takten⁸⁸

Die Impulspausen betragen zwischen 9 Millisekunden und 475 Millisekunden. Die visuelle Taktfrequenz äußerte sich in Blinken von Signalwort und Hintergrund in Anlehnung an die Daten von Tabelle 7. Die haptische Taktfrequenz wurde mittels eines Vibrators erzeugt, der 2.5 Zentimeter unter dem Handgelenk angebracht war. Dieser setzte einen 250 Hertz Sinuston in fühlbare Signale um. Die Länge des fühlbaren Reizes betrug ebenfalls 200 Millisekunden mit jeweils 20 Millisekunden On- und Offset.

⁸⁷ vgl. Baldwin, 2012, S.3586ff.

⁸⁸ vgl. Gonzalez, 2012, S.46

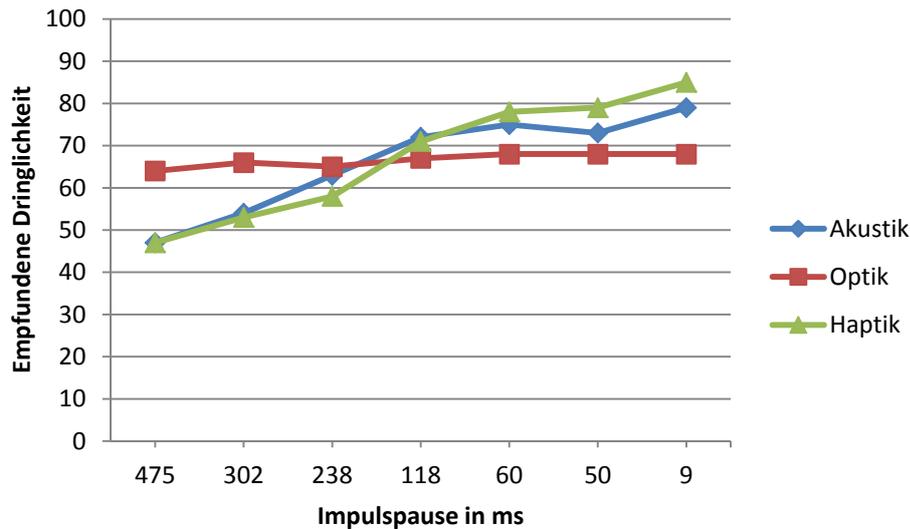


Abbildung 22: Vergleich der Dringlichkeit als Funktion von akustischer, visueller und haptischer Taktfrequenz⁸⁹

In Abbildung 22 ist die wahrgenommene Dringlichkeit über der Impulspause aufgetragen. Die Pause zwischen den Takten ist eine Funktion der Taktfrequenz. Höhere Taktfrequenzen bedingen kürzere Pausen zwischen den Takten. Eine große Bandbreite an Dringlichkeits-Stufen wurde in jedem Modus (akustisch, visuell und taktil) erreicht. Durch Variation der Parameter innerhalb der einzelnen Modi konnten gleiche Dringlichkeits-Stufen erreicht werden. Der fühlbare Modus ist hervorragend geeignet, um unterschiedliche Dringlichkeits-Stufen mitzuteilen. Die Teilnehmer stufen, im Vergleich zum visuellen und auditiven Modus, die taktilen Reize als nicht lästig oder störend bei annehmbarer Akzeptanz ein.

3.4 Warnungen in Textform^{90, 91}

Die Bedeutung visueller Warnungen wird durch große, fette Schrift mit hohem Kontrast hervorgehoben. Weitere Einflussgrößen sind Farbe, Rahmen, Bildzeichen und Spezialeffekte wie blinkendes Licht. Fette Schriftarten werden aufgrund des höheren Kontrasts zum Hintergrund bevorzugt, dennoch muss die Strichstärke derart gewählt werden, sodass keine Zeichen verdeckt werden. Die Einfärbung der Schrift erzeugt ebenfalls Aufmerksamkeit, wobei sich die Farbe vom Hintergrund und anderen Umgebungsfarben deutlich abheben muss. Farbige Warnungen werden im Vergleich zu achromatischen eher gelesen und als gefährlich eingestuft. Beispielsweise wird rot geschriebenen Warnungen mehr Beachtung geschenkt als schwarz geschriebenen. Der Einsatz von dicken, kraftvollen Farbrahmen erhöht die Aufmerksamkeit von Warnzeichen und die Kombination aus Text und Bildzeichen ist gleichfalls sehr auffällig.

⁸⁹ vgl. Baldwin, 2012, S.3589

⁹⁰ vgl. Wogalter, 2002, S.221ff.

⁹¹ vgl. McDougald, 2013, in Press

Eine wirkungsvolle Warnung besteht aus vier Komponenten, wobei jede einem bestimmten Zweck dient:

1. Signalwort, das Aufmerksamkeit erregt
2. Erkennen der Gefahr
3. Aufzeigen der Konsequenzen bei Aussetzung der Gefahr
4. Maßnahmen zur Vermeidung der Gefahr

Eine Warnung soll zunächst durch ein Signalwort Aufsehen erregen und den Grad der Gefährdung wiedergeben. Die vier häufigsten Signalwörter (ANSI Z535.1-5, 1998) sind „Danger“ (Gefahr), „Warning“ (Achtung), „Caution“ (Vorsicht), „Notice“ (Hinweis). Dabei wird bis auf wenige Ausnahmen „Danger“ mit dem höchsten und „Notice“ mit dem niedrigsten Gefährdungsgrad assoziiert. Der Unterschied in der Wahrnehmung zwischen „Warning“ und „Caution“ ist weniger klar. Die Einbindung von Signalwörtern in Warnungen erhöht die Wirksamkeit und den wahrgenommenen Gefährdungsgrad. Die zweite Komponente beschreibt die Art der Gefahr. Die Gefahrenbeschreibung sollte spezifisch und vollständig sein. Zum Beispiel könnte es eine Erklärung oder Beschreibung der beteiligten Mechanismen sein, die den Personen die Art der Gefahr zu verstehen geben. Gleichzeitig soll die Information der Warnung so kurz und zielgerichtet wie möglich sein. Drittens soll die Warnung die Konsequenzen bei Nichteinhaltung aufzeigen. Eine genaue Beschreibung der Verletzungen enthält weitere Informationen und weist auf die Sinnhaftigkeit der Einhaltung hin. Der Warnhinweis in einer chemischen Fabrik könnte explizit „Führt zu schweren Lungenschäden!“ lauten. Nicht explizite Warnungen wie „Sie könnten verletzt werden“ werden als weniger bedrohlich eingestuft. Die Verwendung expliziter Warnungen erhöht das Bewusstsein des Gefährdungsgrades, das Gefahrenverständnis, die Notwendigkeit vorsichtigen Handelns und das Tragen von Schutzkleidung. Zuletzt sollen noch Richtlinien und Anleitungen geboten werden, um die Gefahr zu vermeiden. Diese sollen, wie bei den Konsequenzen der Nichteinhaltung, von expliziter Form sein. Um an das Beispiel der Lungengefährdung anzuschließen, soll hier explizit auf den Typ der geeigneten Schutzausrüstung, um Lungenschädigung zu verhindern, hingewiesen werden. Hinweise auf Schutzausrüstung allgemeiner Art sind weniger einprägsam. Gefahrenvermeidende Anweisungen sollen konkrete Maßnahmen anführen, die die Sicherheit des Empfängers der Warnung gewährleisten. Wenn ein Teil der Warnung relevante Informationen für einen anderen Teil vermittelt, dann müssen die Folgeinformationen nicht in einer separaten Aussage mitgeteilt werden. Das heißt, die Folgen sind durch das Erkennen der Gefahr offensichtlich und brauchen keinen gesonderten Hinweis.

Die Wirksamkeit der Warnung wird gleichfalls durch das Layout beeinflusst. Die meiste Aufmerksamkeit erzielen Warnungen, die über Aufzählungszeichen und listenähnliches Format verfügen. Warnungen in Listenform werden als attraktiver,

leichter zu verarbeiten und effektiver als andere Layouts eingestuft. Zusätzlich ziehen sie mehr Aufmerksamkeit auf sich, werden eher befolgt und die Suchzeit innerhalb der Liste ist kürzer. Die richtige Positionierung einer Warnung hängt einerseits von der Aufgabenstellung und andererseits von der Umgebung ab, in der die Aufgabe zu erfüllen ist. Eine gut durchdachte Warnung wird wenig nützen, wenn sie der Benutzer am Ort der Ausführung nicht sehen wird. Warnungen sind am effektivsten, wenn sie in der unmittelbaren Umgebung zur Gefahr angebracht werden. So bemerkten 98 % der Teilnehmer die Warnung, die im Zusammenhang mit ihrer Tätigkeit auf einem Aktenschrank befestigt war.

Die Verwendung von Bildsymbolen in Warnungen erhöht die Auffälligkeit und die Wahrscheinlichkeit wahrgenommen zu werden. Eine Warnung muss zunächst einmal lesbar sein, bevor sie verstanden wird. Demnach ist die Lesbarkeit von der Größe des Bildsymbols und von der Entfernung, aus der es gesehen wird, abhängig. Umgebungsbedingungen wie Sonnenlicht, Feuchtigkeit, Temperatur oder das Vorhandensein bestimmter chemischer Substanzen können die Lesbarkeit der Warnungen über die Zeit negativ beeinflussen. Gerade für schlecht sehende Personen oder bei diffusen Rahmenbedingungen wie Rauch oder Nebel ist die Erkennbarkeit von besonderer Bedeutung. Bildsymbole eignen sich hervorragend, um konkrete und einfache Informationen zu vermitteln. Sie sind nicht für die Weitergabe von abstrakten Konzepten gedacht. Eine weitere wichtige Funktion von Bildsymbolen ist es, das Verstehen von Warnungen zu erleichtern. Verstehen bedeutet in diesem Kontext das Ausmaß, in dem der Empfänger die ursprünglich beabsichtigte Bedeutung der Warnung versteht. Sowohl in der ISO 3461-1 als auch in der ANSI Z535 wurden minimale Verständnisanforderungen von 67 % beziehungsweise 85 % der Durchschnittsbevölkerung festgelegt. Die Verständlichkeit einer Warnung ist besonders für Kinder und Analphabeten wichtig, sowie für Personen, die der verwendeten Sprache nicht mächtig sind. Richtlinien wie ANSI Z535.3 und ISO 3864-1 empfehlen die Verwendung einfacher Warnsymbole. Manche Situationen erfordern jedoch spezifische und komplexe Hinweise, die durch die simplen Symbole nicht mehr abgedeckt werden können. Im Gegensatz zu herkömmlichen Design-Strategien, die so wenig wie möglich Einzelheiten hervorheben, ist es jedoch manchmal für das Verständnis von Vorteil, wenn zusätzliche Informationen und Details in das Bildsymbol eingearbeitet werden. Die zusätzlichen Informationen helfen dem Betrachter situationsbezogene Überlegungen anzustellen und Vermeidungsstrategien anzuwenden. Die Zugabe von Farbe ist eine Möglichkeit, um die Auffälligkeit zu erhöhen und die Aufmerksamkeit des Betrachters von den Umgebungsreizen auf die Warnung zu lenken. Das Hervorheben eines begrenzten Bereiches mit Farbe erhöht den Stellenwert der wichtigsten Details des Symbols und kann die möglichen negativen Auswirkungen bildlicher Komplexität reduzieren.

Experimentell wurde das bessere Verständnis von Bildsymbolen durch Hervorhebung einzelner Bereiche mit Farbe getestet. Dabei wurde zwischen zwei Zuständen der farblichen Markierung unterschieden. Im Zustand eins wurden relevante Details hervorgehoben, die die korrekte Interpretation des Symbols erleichtern. Im Zustand zwei wurden unbedeutende Bereiche für das Verständnis farbig gekennzeichnet. Beide Zustände, Symbole mit Markierung relevanter und Symbole mit Markierung irrelevanter Bereiche wurden mit den Basissymbolen verglichen, die über keine farbliche Hervorhebung verfügten. Einerseits wurde davon ausgegangen, dass die Markierung relevanter Bereiche das bildliche Verständnis im Vergleich zu den farblich nicht markierten Basissymbolen fördert. Andererseits wurde erwartet, dass die gezielte Ablenkung und Hinführung der Aufmerksamkeit auf irrelevante hervorgehobene Teile des Bildsymbols das Verständnis im Vergleich zu den farblich nicht markierten Basissymbolen mindert.

Insgesamt gab es drei Bildarten:

- Keine Hervorhebung
- Hervorhebung relevanter Bereiche
- Hervorhebung nicht relevanter Bereiche

Die Hervorhebungen wurden mit transparenter, gelber Farbe visualisiert. Im Testzustand „Hervorhebung relevanter Bereiche“ waren das Teilgebiete, die im Zentrum der Person und der ausführenden Tätigkeit im Bild standen. Folglich wurden im Testzustand „Hervorhebung nicht relevanter Bereiche“ Gebiete farblich markiert, die nicht im Brennpunkt mit der Person und ihrer ausführenden Aufgabe standen. Zusätzlich wurden unter dieser Testbedingung Bereiche ausgespart, die im Modus „Hervorhebung relevanter Bereiche“ bereits hervorgehoben wurden. Ein Beispiel zeigt Abbildung 23.



Abbildung 23: Knie beugen bei Tragen von Lasten. Gelbe Hervorhebungen sind mit grauer Farbe dargestellt. V. l. n. r.: Keine Hervorhebung, Hervorhebung nicht relevanter Bereiche, Hervorhebung relevanter Bereiche⁹²

Die Teilnehmer bekamen zu jedem Bildsymbol eine Erklärung zu lesen, in welcher Umgebung das jeweilige Symbol gesehen werden könnte. Dann wurden sie gebeten, die Aussage der Bilder ausführlich zu beschreiben. Die Ergebnisse zeigten, dass

⁹² McDougald, 2013, in Press

relevant hervorgehobene Bereiche das Verständnis im Vergleich zu den nicht markierten Basisbildern unterstützen. Das ist auf die verstärkte Hinführung der visuellen Aufmerksamkeit des Beobachters auf relevante Informationen zurückzuführen. Unwichtig hervorgehobene Bereiche minimieren die korrekte Interpretation, weil das Blickfeld gezielt auf falsche Informationen gelenkt wird und somit zu Verwirrung führt. Das Verständnis der Bedeutung von Bildern profitiert von Hervorhebungen relevanter Details. Die Markierung irrelevanter Bereiche lenkt die Aufmerksamkeit bewusst auf unbedeutende Teile und führt zu falschen Interpretationen der Aussage. Die richtige Bedeutung der Bilder mit relevant markierten Bereichen wurde ungefähr doppelt so oft erkannt, wie von Bildern ohne Hervorhebungen und viermal so oft, wie von Bildern mit irrelevanten Hervorhebungen. Hervorhebungen sind daher abhängig von den Bereichen, die visuell aufbereitet werden, entweder hilfreich oder irreführend bei der Interpretation von Bildaussagen.

4 Fallstudie „microSNIFF“

„microSNIFF“ ist ein Projekt zur Entwicklung eines Detektorsystems für flüchtige, kritische Substanzen und bildet den Praxisteil der Diplomarbeit. Explizit handelt es sich um ein tragbares Gasdetektionsgerät, das die persönliche Schutzausrüstung von professionellen Ersthelfern erweitern und so präventiv zur Sicherheit aller Beteiligten beitragen soll.

Die Herausforderung besteht in der Entwicklung eines kostengünstigen Gasdetektors, der für alle potenziell gefährdenden Personen verschiedener Bedarfsträger leistbar ist. Zudem soll das Gerät leicht zu handhaben sein und den Schutz nicht speziell geschulter Anwender erhöhen. Herzstück des Detektors sind Halbleitersensoren und elektrochemische Sensorkomponenten, die das Anwendungsspektrum des Gasdetektors erheblich erweitern und den Anforderungen zahlreicher Anwendungsszenarien der Bedarfsträger nachkommen.

Zu den erfassbaren Substanzen zählen toxische Industriematerialien wie Kohlenmonoxid, Ammoniak und Salzsäure aber ebenso Kampfstoffe wie Senfgas, Sarin oder Tränengas, um nur einige Beispiele zu nennen. Dadurch soll eine breite Palette an Zielsubstanzen detektierbar und in Anwendungsfällen, die von Gefahrenstoffunfällen bis Rüstungskontrollen reichen, erkannt werden. Im Rahmen von GSK-Aspekte (Geistes-, Sozial- und Kulturwissenschaften) soll das Stressverhalten der Benutzer beleuchtet werden und die geeignete Form der Alarmgebung zur Anwendung kommen. Im Vordergrund der Panikvermeidung steht die Sicherheit von Ersthelfern zu erhöhen und das Fehlverhalten zu minimieren.⁹³

4.1 „microSNIFF“ und QFD

Mit Hilfe von QFD wurden die Kundenanforderungen (Stimme des Kunden) in Produktmerkmale (Stimme des Unternehmens) „übersetzt“ und daraus die Produktspezifikationen für „microSNIFF“ erstellt. Bei den Meetings waren Vertreter von Bedarfsträgern, Industriepartnern, F&E und GSK anwesend, um unterschiedliche Sichtweisen und Anforderungen zu kombinieren und in die Produktentwicklung einzubringen.

Zu Beginn der Anwendung von QFD stand die Durchführung einer Anforderungsanalyse unter Einbeziehung der Projektziele und Rahmenbedingungen. Brainstorming und anschließende Strukturierung führten zu folgenden Punkten:

- Günstiges Detektorsystem für flüchtige, kritische Substanzen zur Ausstattung von Ersthelfern

⁹³ (vgl.) o.V.: Kiras Sicherheitsforschung, Projektantrag PL 3.3, 2011

- Entwicklung eines Alarmgerätes (kein Messgerät)
- Definition der Zielgruppen
 - Einsatzkräfte
 - Wartungsbeauftragte
 - Einkäufer
- Definition der Einsatzgebiete
 - Polizei
 - Bundesheer
 - Feuerwehr
 - Rettung
- Detaillierte Betrachtung der Bereiche
 - Panikvermeidung
 - Ergonomie
 - Technische Anforderungen
 - RAMS⁹⁴

Die detaillierten Ausführungen der einzelnen Punkte sind im Anhang⁹⁵ nachzulesen.

Aufbauend auf die zuvor genannten Punkte Panikvermeidung, Ergonomie, technische Anforderungen und RAMS wurden die Kundenanforderungen im gegenseitigen Austausch und durch Vergleiche mit Mitbewerberprodukten festgelegt und entsprechend ihrer Wichtigkeit gereiht. Die Bewertung der Anforderungen wurde von Vertretern der anwesenden Fachrichtungen vorgenommen. Pro Person waren maximal 23 Punkte zu vergeben, wobei eine Anforderung mit maximal zwei Punkten bewertet werden konnte. Die wichtigsten zehn Anforderungen sind in Abbildung 24 ersichtlich. Die vollständige Aufstellung und Wertung aller Aspekte ist dem Anhang⁹⁶ zu entnehmen.

| Rang | Anforderung | Punktvergabe |
|------|---|--------------|
| 1 | Deutliches Signal bei Gefahr | 16 |
| 2 | Einfache und sichere (fehlerfreie) Handhabung | 14 |
| 3 | Geringer gerätetechnischer Wartungsaufwand | 12 |
| 4 | Gewährleistung der Bewegungsfreiheit | 11 |
| 4 | Genau und korrekte Messung | 11 |
| 6 | Funktionsfähigkeit unter verschiedenen Betriebsverhältnissen | 10 |
| 7 | Gewährleistung des Personenschutzes | 9 |
| 7 | Hohe Stoßsicherheit | 9 |
| 7 | Analyse von breitem Spektrum an Gefahrstoffen (auch Gemische) | 9 |
| 7 | Lange Betriebsdauer | 9 |

Abbildung 24: Muss-Anforderungen von „microSNIFF“⁹⁷

⁹⁴ (vgl.) o.V.: „microSNIFF“, Arbeitsmeeting: Anforderungsanalyse, Wien, 30.03.2012, S.21ff.

⁹⁵ siehe Anhang B, S.68

⁹⁶ siehe Anhang C, S.77

⁹⁷ (vgl.) o.V.: „microSNIFF“, Gewichtung Anforderungsanalyse, Wiener Neustadt, 22.06.2012, S.4

Dadurch war es möglich, die Muss-Anforderungen von den Anforderungen mittlerer und niederer Priorität zu trennen. Die Produktmerkmale wurden vom IMW (Institut für Managementwissenschaften) ausgearbeitet. Hier waren Hauptbaugruppen und Bestandteile des Produktes ein guter Anhaltspunkt.

- Signalgeber
- Bedienungselemente
- Sensor
- Gehäuse
- Stromversorgung
- Anzeige
- Hauptplatine inkl. Datenspeicher
- Probenkammer
- Analyse-Software (inkl. Interpretation)

Im Zuge der Gespräche kamen die beteiligten Projektpartner zu dem Entschluss, dass das Produktmerkmal „Analysesoftware (inkl. Interpretation)“ nachträglich ergänzt werden muss, um wirklich allen Kundenanforderungen gerecht zu werden.

Nachfolgend wurden die Korrelationen zwischen Kundenanforderungen und Produktmerkmalen vorgenommen. Durch spaltenweise Addition des Produktes von Korrelationswert und Wertung der Kundenanforderungen erhielt man jene Produktmerkmale, die zur Erfüllung der Kundenwünsche besonders wichtig waren (Abbildung 25).

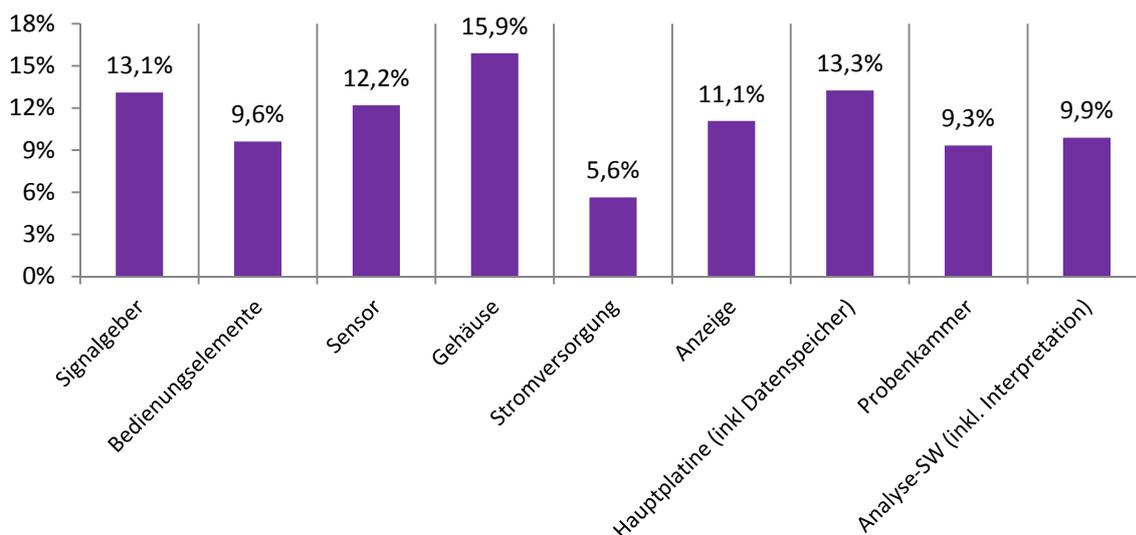


Abbildung 25: Produktmerkmale nach Wichtigkeit⁹⁸

⁹⁸ eigene Anfertigung, Meeting am 17.05.2013, Wiener Neustadt

Die Auswertung ergab, dass Gehäuse, Hauptplatine, Signalgeber, Sensor und Anzeige die bedeutendsten Produktmerkmale bei „microSNIFF“ darstellen. Die zuvor über Symbole gewichteten Korrelationen wurden nun detailliert und in die Korrelationsmatrix des HoQ eingetragen.

4.2 Produktspezifikationen

Nachfolgend werden speziell die Produktmerkmale „Signalgeber“ und „Anzeige“ von „microSNIFF“ erläutert, die im Mittelpunkt der Recherchen in dieser Diplomarbeit standen. Zudem wird kurz auf die Bedienelemente eingegangen.

4.2.1 Signalausgabe

Die Lokalisierung von Akustiksignalen wird durch breitbandige Spektren erleichtert, wie sie in weißem Rauschen vorzufinden sind. Das alleine genügt jedoch nicht. Zusätzlich müssen akustische Signale mit ergänzenden Informationen über die Art und Dringlichkeit des Vorfalles versehen werden. Wie Abbildung 26 zeigt, gelingt dies am besten, in dem der Frequenzbereich von 1-3 Kilohertz aus dem Rauschen entfernt und Klänge in diese „Frequenzlöcher“ eingebettet werden. Bandsperren im Bereich von 1-3 Kilohertz beeinträchtigen das Richtungshören minimal, während Filterbereiche von 1-10 Kilohertz vor allem bei kleinem Azimut große Auswirkungen auf die Bestimmung der Signalrichtung haben.⁹⁹

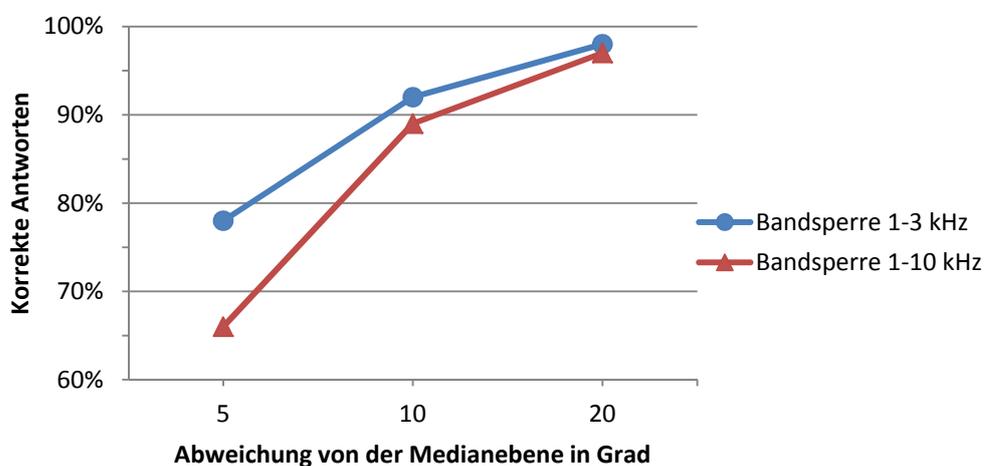


Abbildung 26: Korrekte Antworten als Funktion der Abweichung von der Medianebene¹⁰⁰

Ein akustisches Gefahrensignal muss in erster Linie gehört werden und soll 15 Dezibel über dem Umgebungspegel liegen. Der Mindestpegel soll 65 Dezibel betragen, der Maximalpegel darf 118 Dezibel im Signalempfangsbereich nicht übersteigen.¹⁰¹

⁹⁹ vgl. Catchpole, 2004, S.748ff.

¹⁰⁰ vgl. ebenda, S.755

¹⁰¹ vgl. DIN EN ISO 7731:2008, S.10

Die Variation des Schalldruckpegels ist sicher eine verlässliche Möglichkeit, Aufmerksamkeit zu erregen. Je höher der Schalldruckpegel, desto mehr Beachtung wird dem Signal geschenkt.^{102,103} Bei durchschnittlich angenommenen 80 Dezibel Umgebungspegel im Einsatz, das sehr starkem Verkehrslärm¹⁰⁴ entspricht, muss das Signal dementsprechend mit mindestens 95 Dezibel ausgestrahlt werden. Vor allem in sehr lauter Umgebung kann es vorkommen, dass das Signal nicht mehr gehört wird. Zudem ist die Unterscheidung von Warnung und Alarm durch die Änderung des Schalldruckpegels infrage zu stellen, da beide Signalinformationen gehört werden müssen. Des Weiteren kann ein zu lautes Signal die Aufmerksamkeit des Hörenden auf sich ziehen, wodurch zusätzliche Tonparameter unbeachtet bleiben.¹⁰⁵ Um Schreckreaktionen zu vermeiden, rät die DIN EN ISO 7731 den Schalldruckpegel um nicht mehr als 30 Dezibel in 0.5 Sekunden zu erhöhen.¹⁰⁶ Alternativ gibt es die Möglichkeit den ersten Impuls um 5 Dezibel leiser auszustrahlen.¹⁰⁷

Ein einzelner Ton ist als Warn- und Alarmsignal ungeeignet. Vergleiche von einfrequente Tönen mit Sweeps haben deutlich gezeigt, dass Sweeps die höchste Beachtung erreichen. Dabei dominiert der Up-Sweep (bspw. 1000 bis 3000 Hertz) über den Down-Sweep und unterstreicht die Bedeutung der steigenden Frequenzfolge.¹⁰⁸ Die Gleitgeschwindigkeit der Frequenzfolge kann laut DIN EN 981 von 5 Hertz pro Sekunde bis 5000 Hertz pro Sekunde betragen.¹⁰⁹ Mehrfrequente Klänge sind einfrequente Tönen überlegen. Die Erhöhung der Grundfrequenz verspricht Verbesserungen in der auditiven Wahrnehmung.¹¹⁰ Die Wahl der Grundfrequenz von 200 Hertz oder 500 Hertz hat kaum Auswirkungen auf die wahrgenommene Dringlichkeit des Signals. Wirklich signifikante Unterschiede ergeben sich beim Vergleich von Klängen in der Größenordnung von 200 Hertz und 800 Hertz, wobei dem höherfrequenten Grundton als Alarm-Signal der Vorzug zu geben ist. Der Grundton von 200 Hertz könnte die Basis für ein Warn-Signal sein. Abhängig von der Anzahl der Obertöne besteht der Klang dann aus mehreren Tönen unterschiedlicher Frequenz, die einfrequente Tönen klar überlegen sind.¹¹¹

Laut DIN 14610 dienen zwei Klänge als Warn-Signal, deren Grundfrequenzen zwischen den Grenzen von 360 Hertz und 630 Hertz liegen und im Verhältnis 1:1.333 stehen. Die Gesamtzeit eines Zyklus muss zwischen 2.5 Sekunden und 3.5

¹⁰² vgl. Gonzalez, 2012, S.44ff.

¹⁰³ vgl. Haas, 1996, S.193ff.

¹⁰⁴ vgl. <http://www.sengpielaudio.com/TabelleDerSchallpegel.htm> (Gelesen am: 23.08.2013)

¹⁰⁵ vgl. Gonzalez, 2012, S.44ff.

¹⁰⁶ vgl. DIN EN ISO 7731:2008, S.10

¹⁰⁷ vgl. Catchpole, 2004, S.748ff.

¹⁰⁸ vgl. ebenda

¹⁰⁹ vgl. DIN EN 981:2009, S.9

¹¹⁰ vgl. Gonzalez, 2012, S.44ff.

¹¹¹ vgl. Haas, 1996, S.193ff.

Sekunden betragen. Zwischen den einzelnen Zyklen soll keine Pause sein, wobei maximal 0.8 Sekunden toleriert werden.¹¹²

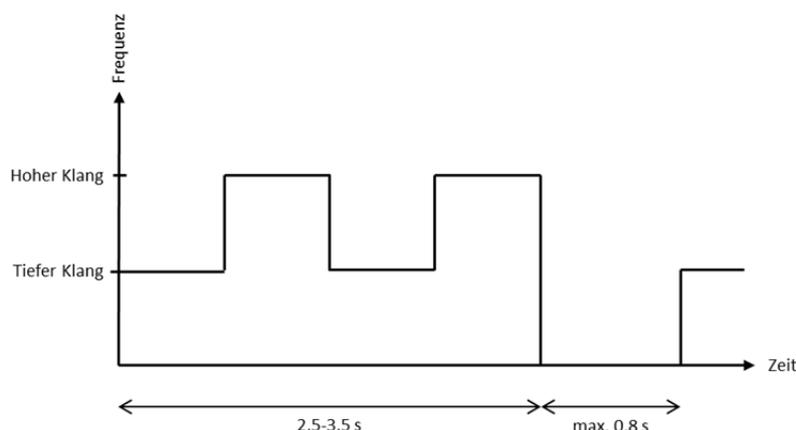


Abbildung 27: Klangfolge eines Warnsignals¹¹³

Gefahrensignale sollen Frequenzen im Bereich zwischen 500 Hertz und 2500 Hertz aufweisen. Empfohlen werden zumindest zwei Hauptkomponenten im Bereich zwischen 500 Hertz und 1500 Hertz. Ausreichende Hörbarkeit eines Gefahrensignals ist durch Grundfrequenzen zwischen 500 Hertz und 1000 Hertz gegeben, die aus drei¹¹⁴ oder fünf¹¹⁵ Obertönen bestehen. Der Bereich von 750 Hertz bis 1000 Hertz wird allgemein als passend empfunden, um Dringlichkeit zum Ausdruck zu bringen.¹¹⁶ Interessant ist, dass schlafende Personen bei 75 Dezibel und einem Rechteck-Signal mit 520 Hertz eher erwachen, als bei einem Sinuston mit 3100 Hertz.¹¹⁷

Die Änderung der Grundfrequenz ist für den Menschen besonders unter uneinheitlichen Bedingungen schwer zu unterscheiden und kann durch die Überlagerung von mehreren Tönen erklärt werden. Die Unterscheidung von Warn- und Alarmsignal durch Variation der Grundfrequenz ist aus diesem Grund nicht empfehlenswert. Die Änderung der Taktfrequenz eignet sich hervorragend, um Dringlichkeit bei akustischen, visuellen und haptischen Signalen und somit Unterschiede zwischen Warn- und Alarmsignalen auszudrücken. Die einfache Formel lautet: Je kürzer die Pause zwischen den Impulsen, desto dringender wird das akustische Signal empfunden.¹¹⁸ Die meiste Dringlichkeit erzielen auditive Signale, die nur durch On- und Offset getrennt sind.¹¹⁹ Die Spanne der als dringend

¹¹² vgl. DIN 14610:2009, S.4

¹¹³ vgl. ebenda

¹¹⁴ vgl. DIN EN ISO 7731:2008, S.10f.

¹¹⁵ vgl. DIN 33404:1982, S.1

¹¹⁶ vgl. Zobel, 1998, S.1242ff.

¹¹⁷ vgl. Bruck, 2009, S.21ff.

¹¹⁸ vgl. Gonzalez, 2012, S.44ff.

¹¹⁹ vgl. Haas, 1996, S.193ff.

empfundene Taktfrequenzen reicht von 0.5 Hertz über 4 Hertz¹²⁰ bis hin zu 6 Hertz.¹²¹ Die Taktfrequenz ist eine Funktion der Impulsdauer und somit begrenzt. Impulslängen mit durchschnittlich 200 Millisekunden (inkl. On- und Offset) ergeben ohne Pause zwischen den Impulsen demnach eine maximale Taktfrequenz von 5 Hertz.

Haptische Signale werden gut im Bereich der Hüfte und sehr gut am Rückgrat wahrgenommen. Die haptische Sensibilität nimmt mit zunehmendem Abstand von der Medianebene ab. Kopf und Hand sind ungeeignete Orte um Vibratoren anzubringen. Körperfett, speziell um die Hüfte, vermindert die Wahrnehmung von Vibrationen.¹²² Die Haut reagiert, abhängig von der Position, im Bereich von 20 Hertz bis 500 Hertz sehr sensibel auf Vibrationen.¹²³ „microSNIFF“ wird überwiegend auf der Schutzausrüstung angebracht, welche Vibrationen erheblich dämpft. Untersuchungen der Autoindustrie, die Vibratoren in Sitze einbaut und die annähernd der Dämpfung durch Schutzausrüstung gleichkommen könnten, haben gezeigt, dass ab ungefähr 40 Hertz / 4.3 G ein klarer Rückgang der als „angemessen“ eingestuften Intensität zu beobachten ist. Der Durchmesser des Motors betrug 27.5 Millimeter bei einer Länge von 37.8 Millimeter und einer exzentrischen Masse von 11.28 Gramm. Dieser Wert ist als unterster Grenzwert zu verstehen, da die Daten nicht direkt auf der Sitzoberfläche abgenommen, sondern über die Eingangsspannung des Vibrators rückgerechnet wurden.¹²⁴ Die Werte der angegebenen Daten variieren stark. 162 Hertz direkt auf der Hautoberfläche bei einer Exzentermasse von 0.59 Gramm¹²⁵ oder 100 Hertz bei Amplituden von 0.025 Millimeter¹²⁶ machen deutlich, wie stark die Aussagen voneinander abweichen. Die Wahrnehmung von Vibrationen hängt zusätzlich von der Wellenform des Speisesignals des Vibrators ab. Sinus-Signale sind, gefolgt von Dreieck- und Rechteck-Signalen, am sanftesten. Die Dringlichkeit des Alarmsignals kann wiederum über die Pausen zwischen den Reizen beeinflusst werden. Kürzere Pausen signalisieren ein erhöhtes Maß an Dringlichkeit.¹²⁷ Damit die Signale von Personen detektiert werden können, müssen die haptischen Impulse jedoch durch mindestens 10 Millisekunden andauernde Pausen getrennt sein.¹²⁸ Der Rhythmus von 3 Sekunden Reizdauer und 0.5 Sekunden Pause¹²⁹ wurde als positiv bewertet. Die Anforderungen an das Gerät sind zu warnen und wach zu rütteln. Aufgrund dieser Anforderung scheidet das vorhin genannte Vibrationsmuster aus.

¹²⁰ vgl. DIN EN ISO 7731:2008, S.10

¹²¹ vgl. Zobel, 1998, S.1242ff.

¹²² vgl. Lindeman, 2006, S.203ff.

¹²³ vgl. Van Erp, 2002

¹²⁴ vgl. Ji, 2011, S.305ff.

¹²⁵ vgl. Ng, 2005, S.1719ff.

¹²⁶ vgl. Chun, 2010

¹²⁷ vgl. Ng, 2005, S.1719ff.

¹²⁸ vgl. Van Erp, 2002

¹²⁹ vgl. Baldwin, 2012, S.3586ff.

0.4 Sekunden Reizdauer bei 0.1 Sekunden Pause entsprechen vielmehr der Anforderung eines Warn- oder Alarmsignals.¹³⁰

Warnung und Alarm werden beim Gasdetektionsgerät zusätzlich über Leuchtkörper angezeigt, die nach oben, vorne und seitlich ausgerichtet sind. Die Zustände des Gerätes werden laut Vorgaben der DIN 6163 über die drei Farben Rot, Gelb und Grün signalisiert.¹³¹ Mit diesen drei Farben werden insgesamt vier Betriebszustände dargestellt. Blinkfrequenz und Blinkmodus haben starken Einfluss auf die Wahrnehmung. Blinkende Signale erregen weit mehr Aufmerksamkeit als konstant leuchtende Signale.¹³² Pausen zwischen den Blinkintervallen erhöhen zusätzlich die Aufmerksamkeit. Das wahrgenommene Gefahrenpotenzial steigt, ungeachtet der Farbe, mit zunehmender Blinkfrequenz. Blinkfrequenzen von 1 Hertz sind zu wenig, um Bedrohung zu signalisieren. Signifikante Unterschiede ergeben sich bei 2 Hertz und 4 Hertz, weil der Signalverarbeitungsprozess des Menschen nicht in der Lage ist, kleine Unterschiede in der Blinkfrequenz zu erkennen.¹³³ Daher sind Blinkfrequenzen von 2 Hertz für Warn-Signale und 4 Hertz für Alarm-Signale durchaus sinnvoll in der Anwendung. Die DIN EN 842 schreibt für ein optisches Notsignal ein rotes Blinklicht mit einer Frequenz von 2-3 Hertz vor.¹³⁴ Blinkfrequenzen von 1 Hertz empfehlen sich somit für Statusanzeigen, die keine Besorgnis ausdrücken sollen.

Der Blinkmodus (1-fach, 2-fach, 3-fach) ist eine weitere Spezifikation des Blinksignals. Im einfachen Blinkmodus blinkt das Licht kontinuierlich gleich schnell, während im 3-fach Modus auf drei schnell hintereinander ausgesendete Lichtblitze eine verhältnismäßig lange Pause folgt, bevor der Zyklus bei gleicher Blinkfrequenz von Neuem beginnt. Abbildung 28 zeigt eine Periode des Signals mit 4 Hertz und 3-fach Modus. Deutlich sichtbar sind die drei kurz wirkenden Lichtblitze (150 Millisekunden) und die vergleichsweise lange Pause (600 Millisekunden), bevor die nächste Periode beginnt.

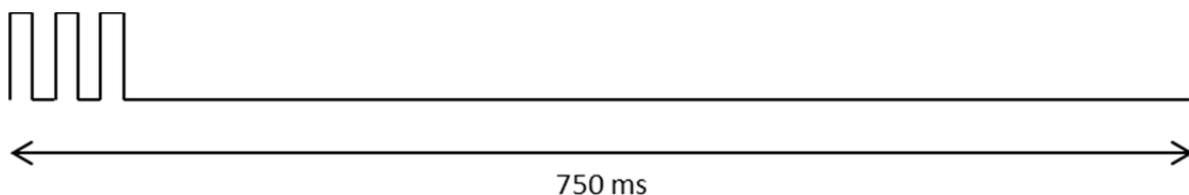


Abbildung 28: Signal mit 4 Hertz und 3-fach Modus

Zur Aufmerksamkeitsmaximierung sollen Statussignale mit einfachem, Warnsignale mit doppeltem und Alarmsignale mit doppeltem oder dreifachem Blinkmodus ausgestattet werden. Die synchrone Ausstrahlung visueller und akustischer Warn-

¹³⁰ vgl. Chun, 2010

¹³¹ vgl. DIN 6163:1975, S.1

¹³² vgl. DIN EN 842:2009; S.7

¹³³ vgl. Chan, 2009, S.346ff.

¹³⁴ vgl. DIN EN 842:2009, S.7

und Alarmmeldungen zeigt sich, verglichen mit asynchroner Aussendung, in schnelleren Reaktionszeiten und weniger Fehlern (Abbildung 29).¹³⁵

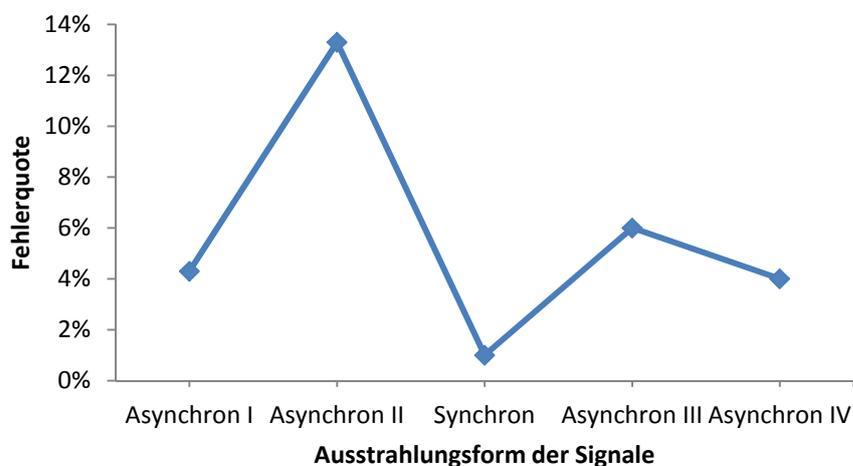


Abbildung 29: Fehlerquote als Funktion synchroner und asynchroner Signale¹³⁶

4.2.2 Betriebszustände

Der Gasdetektor wird mit Standardeinstellungen ausgeliefert, sofern dies vom Kunden nicht anders gewünscht wird. Diese Standardkonfiguration ist auf die Abdeckung der meisten Anforderungen zugeschnitten. Alle nachfolgenden Beschreibungen beziehen sich auf diesen Standardparametersatz, der ausschließlich von speziell unterwiesenem Personal auf Kundenseite und dem Hersteller softwaremäßig geändert werden kann. Der Benutzer selbst kann die Einstellungen nicht verändern. Diese Sicherheitseinstellung entspricht den Kundenanforderungen der einfachen und sicheren Handhabung und Gewährleistung des Personenschutzes.

Der Gasdetektor verfügt über fünf Betriebszustände:

- Alarm
- Warnung
- Kritischer Fehler
- Unkritischer Fehler
- Funktionstüchtigkeit

Die Signalisierung der Detektion kritischer Substanzen erfolgt in zwei Stufen. Zuerst gibt das Gerät eine „Warnung“ aus. Steigen die gemessenen Werte weiter, erfolgt die Ausgabe von „Alarm“. Alle fünf Betriebszustände werden optisch angezeigt. „Alarm“, „Warnung“ und „Kritischer Fehler“ werden zusätzlich akustisch und haptisch verdeutlicht.

¹³⁵ vgl. Chan, 2006, S.131ff.

¹³⁶ vgl. ebenda, S.137

Alarmmeldungen sind weder akustisch, haptisch noch optisch beeinflussbar und das manuelle Ausschalten des Gerätes ist nicht möglich. Solange „microSNIFF“ kritische Substanzen detektiert, ist es unmöglich, Änderungen am Gerät vorzunehmen. Der Eigenschutz und der Rückzug aus der Gefahrenzone hat für die Einsatzkraft in diesem Fall oberste Priorität. Die Auslösung der Alarm-Stufe erfolgt auf der Grundlage von AEGL-2-4h-Werten. AEGL-Werte (Acute Exposure Guideline Levels) sind toxikologisch begründete Spitzenkonzentrationswerte und dienen als Planungswerte für die sicherheitstechnische Auslegung von störfallrelevanten Anlagen. AEGL-Werte werden sowohl nach ihrer toxikologischen Wirksamkeit (AEGL-1, AEGL-2, AEGL-3) wie auch nach der Zeitdauer der Exposition (10 Minuten, 30 Minuten, 1 Stunde, 4 Stunden, 8 Stunden) beurteilt.¹³⁷

Warnungen sind akustisch und haptisch quittierbar, die optische Anzeige kann nicht beeinflusst werden. Solange die Sensoren Konzentrationen erfassen, die über den Grenzwerten liegen, bleibt der Zustand „Warnung“ aufrecht und das manuelle Ausschalten des Gasdetektors ist ebenfalls nicht möglich. Der Warnstufe liegen MAK-Werte zugrunde. MAK-Werte (Maximale Arbeitsplatzkonzentration) berücksichtigen die höchstzulässige Konzentration eines Arbeitsstoffes über die Dauer eines ganzen Arbeitslebens, bei der die Gesundheit des Arbeitnehmers im Allgemeinen nicht beeinträchtigt wird.¹³⁸

„*Kritischer Fehler*“ bedeutet, dass der Detektor nicht mehr funktioniert und der Fehler behoben werden muss. Defekte sowie lose Sensoren können Ursachen für diese Fehlerausgabe sein. Das akustische und haptische Signal ist quittierbar, während der optische Hinweis weiter bestehen bleibt und nicht ausgesetzt werden kann. In diesem Zustand ist das Gerät weder einsatztauglich, noch kann es durch den Benutzer ein- oder ausgeschaltet werden. Das Gerät schaltet in diesem Zustand, bis auf das rot leuchtende Signal, vollkommen ab. Erst wenn der Fehler behoben wurde, kann der Detektor seiner ursprünglichen Verwendung wieder zugeführt werden. Damit soll verhindert werden, dass defekte Geräte von Einsatz zu Einsatz weitergegeben werden.

Laut Standardparametersatz wird immer das akustische, haptische und optische Signal ausgegeben. Einzige Ausnahme bilden die Betriebszustände „Unkritischer Fehler“ und „Funktionstüchtigkeit“, die ausschließlich über Lichtzeichen angezeigt werden.

Unkritische Fehler sind beispielsweise Meldungen über den schwachen Zustand der Batterien oder bald anstehende Wartungsarbeiten. Das Gerät ist in diesem Zustand voll funktionstüchtig, solange die Stromversorgung gewährleistet ist.

¹³⁷ (vgl.) o.V.: Beurteilungs- und Grenzwerte bei luftgetragenen chemischen Schadstoffen, Bundesministerium für Inneres, Sicherheitsakademie

¹³⁸ vgl. vfdB-Richtlinie 10/01, S.5

Die *Funktionstüchtigkeit* des Detektors wird durch immerwährendes grünes Blinken visualisiert. Das Blinken soll die Funktionstüchtigkeit der Firmware anzeigen. Im Falle eines Softwareabsturzes würde das Blinken durch konstantes Leuchten ersetzt werden und auf diese Weise signalisieren, dass ein Neustart erforderlich wäre.

| Betriebszustand | Optische Darstellung | Quittierung | | | Manuelle Abschaltung |
|----------------------|----------------------|-------------|----------|---------|----------------------|
| | | akustisch | haptisch | optisch | |
| Alarm | Rot blinkend | Nein | Nein | Nein | Nein |
| Warnung | Gelb blinkend | Ja | Ja | Nein | Nein |
| Kritischer Fehler | Rot leuchtend | Ja | Ja | Nein | Nein |
| Unkritischer Fehler | Gelb leuchtend | - | - | - | Ja |
| Funktionstüchtigkeit | Grün blinkend | - | - | - | Ja |

Tabelle 8: Betriebszustände des Detektors

Das Gerät ist darauf ausgelegt, am Gürtel oder am Oberkörper getragen zu werden. Das bedeutet, dass die Abmaße so klein wie möglich zu halten sind. Die Größe wird durch Technologie und Funktionsumfang bestimmt. Dennoch liegt der Fokus der Proportionen auf der Tiefe des Detektors. Die gedachten Tragepositionen setzen flache Strukturen voraus, um den Träger in seiner Bewegungsfreiheit so wenig wie möglich einzuschränken. Damit die Leuchtzeichen unabhängig von der Trageposition des Gerätes immer gesehen werden, sind die Leuchtkörper nach vorne, oben und zu beiden Seiten ausgerichtet. Damit ist sichergestellt, dass der aktuelle Betriebszustand des Detektors aus allen Positionen schnell ersichtlich ist.

Die Betriebszustände „Alarm“, „Warnung“ und „Kritischer Fehler“ werden optisch und zusätzlich akustisch und haptisch ausgestrahlt. Tabelle 9 zeigt, wie die Signalarten den Betriebszuständen zugeordnet sind.

| | Akustik | Haptik | Optik |
|---------------------------|---|--|--|
| Alarm | <ul style="list-style-type: none"> • Weißes Rauschen 100 Hz – 15000 Hz • Bandsperre 1000 Hz – 3000 Hz • Up-Sweep 1000 Hz – 3000 Hz Frequenzanstieg 8000 Hz/s • Pause zw. Impulsen On- und Offset | <ul style="list-style-type: none"> • 4 Hz • 3-fach Modus | <ul style="list-style-type: none"> • 4 Hz • 3-fach Modus |
| Warnung | <ul style="list-style-type: none"> • Weißes Rauschen 100 Hz – 15000 Hz • Bandsperre 1000 Hz – 3000 Hz • 2 zeitlich abwechselnde Klänge 800 Hz und 1000 Hz Grundfrequenz mit jeweils 3 Obertönen • Pause zw. Impulsen On- und Offset • Impulsdauer pro Klang 250 ms | <ul style="list-style-type: none"> • 2 Hz • 2-fach Modus | <ul style="list-style-type: none"> • 2 Hz • 2-fach Modus |
| Kritischer Fehler | <ul style="list-style-type: none"> • 1 Klang 800 Hz Grundfrequenz mit 3 Ober- tönen • Pause zw. Impulsen 250 ms • Impulsdauer 250 ms | <ul style="list-style-type: none"> • 2 Hz • 1-fach Modus | <ul style="list-style-type: none"> • Konstant leuchtend |
| Unkritischer Fehler | - | - | <ul style="list-style-type: none"> • Konstant leuchtend |
| Funktions- tüchtigkeit | - | - | <ul style="list-style-type: none"> • 1 Hz • 1-fach Modus |

Tabelle 9: Gestaltung der Signale nach Betriebszuständen

Die Daten der akustischen, haptischen und optischen Signale aus Tabelle 9 sind aufeinander abgestimmt und werden synchron ausgestrahlt, damit die kognitive Erfassung der Hinweise durch den Benutzer schnell und effizient geschieht. Die Daten der Frequenzen und der Modi beziehen sich auf Tabelle 5 (S. 38), die gleichermaßen auf Haptik und Optik angewendet werden.

Bezüglich der Anforderung der intuitiven Handhabung ist es sinnvoll, die Bedeutung der Signale mit Morsezeichen darzustellen und in das Gehäuse einzuprägen. Dadurch soll der Anforderung von nicht speziell geschultem Personal Rechnung getragen werden und die intuitive Erfassung der Gefahrensignale unterstützt werden.

Der Dringlichkeitsgrad wird entsprechend den Betriebszuständen über die Länge von Strichen und den dazwischen liegenden Pausen in Form von Morsecode abgebildet. Die Grenzen dieser Darstellung sind schnell erreicht und können zu Verwirrung führen. Speziell die Visualisierung von akustischer, haptischer und optischer Signalgebung in einem Symbol stößt rasch an die Grenzen der Verständlichkeit. Die bildhafte Darstellung der drei wichtigsten Betriebszustände („Alarm“, „Warnung“ und „Kritischer Fehler“) in Form von Morsecode und die zusätzliche Beschreibung aller optischen Signale sind ein guter Kompromiss (Abbildung 30).

| |
|--|
| Alarm: Rot blinkend |
| - - - - - - - - - |
| Warnung: Gelb blinkend |
| --- --- --- --- --- --- |
| Kritischer Fehler: Rot leuchtend |
| ----- ----- ----- |
| Unkritischer Fehler: Gelb leuchtend |
| Funktionsfähigkeit: Grün blinkend |

Abbildung 30: Prägung der Signale als Morsecode auf das Gehäuse

Die Länge der Striche und der Leerstellen sind kein exaktes Abbild des Verlaufes eines oder mehrerer Signalformen, sondern verdeutlichen vielmehr, dass kürzer werdende Striche und Leerstellen einen erhöhten Gefährdungsgrad signalisieren. Die tatsächliche Bedeutung des augenblicklich angezeigten Signals kann jederzeit über die optische Anzeige abgelesen werden.

Die Akkuanzeige verfügt über separate Leuchtkörper und ist auf der Oberseite des Gasdetektors angebracht. Somit ist sichergestellt, dass der Ladezustand auf einen Blick erfassbar ist. Der Akkuzustand wird separat über drei quadratische LEDs verdeutlicht, die in ein auf das Gehäuse aufgeprägtes Batteriesymbol eingelassen sind (Tabelle 10). Ab 25 % der Gesamtkapazität wechselt die rechte LED gemäß dem Betriebszustand „Unkritischer Fehler“ die Farbe und leuchtet fortan gelb.

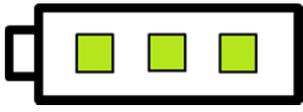
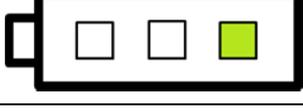
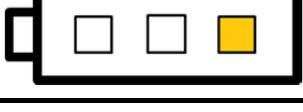
| Akkukapazität | Anzeige |
|---------------|--|
| 100 % - 76 % |  |
| 75 % - 51 % |  |
| 50 % - 25 % |  |
| < 25 % |  |

Tabelle 10: Anzeige der Akkukapazität

Das Gerät verfügt über einen Druck-Schalter, der zwei Funktionen erfüllt. Zum einen wird er zum Ein- und Ausschalten des Detektors benutzt und zum anderen ist er für die Quittierung der akustischen und haptischen Signale in den Betriebszuständen „Warnung“ und „Kritischer Fehler“ vorgesehen. Der Schalter ist auf der Vorderseite des Gerätes angebracht. Auf diese Weise ist der Schalter, unabhängig von der Position des Gerätes am Körper, für Rechts- und Linkshänder gleichermaßen gut erreichbar. Vermutlich wird ein Rechtshänder den Detektor an der rechten Seite des Gürtels oder auf der linken Seite der Brust anbringen und Linkshänder umgekehrt.

Eine bestimmte Druckfolge, zweimal kurz und einmal lang, verhindert das versehentliche Ein- und Ausschalten des Detektors. Lichtzeichen zeigen dem Benutzer an, dass das Gerät „weiß“, dass gerade der Schalter betätigt wird. Denkbar ist das konstante Leuchten des gelben Lichtes während der Zeitdauer des Tastendrucks. Hat das Gerät die Eingabe des Benutzers verstanden, wird ihm das durch grün blinkendes Licht angezeigt. So weiß der Benutzer immer, ob das Gerät seine Eingabe „verstanden“ hat. Rot blinkendes Licht und Vibrieren zeigen der Einsatzkraft, dass das Gerät die Eingabe nicht „verstanden“ hat (Tabelle 11).

| Tastendruck | Eingabe „verstanden“ | Eingabe nicht „verstanden“ |
|---|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> Konstant gelb leuchtendes Licht | <ul style="list-style-type: none"> Grün blinkendes Licht 2 Lichtblitze Impulsdauer: 250 ms Impulspause: 250 ms | <ul style="list-style-type: none"> Rot blinkendes Licht 3 Lichtblitze Impulsdauer: 125 ms Impulspause: 125 ms Haptik 3 Impulsstöße Impulsdauer: 125 ms Impulspause: 125 ms |

Tabelle 11: „Kommunikationssignale“ des Gasdetektors

5 Zusammenfassung und Ausblick

Warn- und Alarmsignale haben nicht nur die Aufgabe vor Gefahren zu warnen und Aufmerksamkeit zu erregen. Akustische Gefahrensignale sollen dem Empfänger Richtung und Dringlichkeit vermitteln. Die Ergänzung von akustischen Signalen mit weißem Rauschen verbessert die Ortung des Gasdetektors. Im Ernstfall kann die Bestimmung der Richtung, aus der die Warnung oder der Alarm eines anderen Detektors ertönt, hilfreich für Kollegen bei ihrer Entscheidungsfindung sein. Ebenfalls von Bedeutung ist die Richtungslokalisierung bei der Bergung von Kollegen, die es nicht mehr geschafft haben, sich aus der Gefahrenzone zurückzuziehen. Ursachen können Bewusstlosigkeit oder Verletzungen sein.

Richtungshören ist bei der Ausstrahlung von Breibandrauschen wesentlich einfacher als bei der Ausstrahlung von Tönen. Weißes Rauschen mit Bandsperrern im Frequenzbereich von 1-3 Kilohertz, in die die Ton-Signale eingebettet sind, ergeben minimale Einschränkungen bei der Lokalisation und gleichzeitig zufriedenstellende Ergebnisse bei der Identifikation von klanglichen Merkmalen.

Die Dringlichkeit in Ton-Signalen wird am eindrucksvollsten in Up-Sweeps zum Ausdruck gebracht. Die Frequenzänderung pro Zeiteinheit ist bei Sweeps ein umfassender Parameter, um unterschiedliche Stufen von Dringlichkeit auszudrücken. Frequenzänderungen im einstelligen Kilohertzbereich pro Sekunde machen den Eindruck von Dringlichkeit in Alarmmeldungen deutlich.

Alternativ zu Sweeps eignet sich auch der Einsatz von Klängen mit mehreren Frequenzanteilen zur Demonstration von Aufmerksamkeit. Grundfrequenzen von Klängen im dreistelligen Bereich und zusätzliche Obertöne bringen Dringlichkeit zum Ausdruck, wobei tieffrequente Grundtöne für Warnungen und hochfrequente für Alarm-Signale verwendet werden.

Zeitliche Muster helfen dem Menschen beim Unterscheiden von Tönen und heben die Taktfrequenz als wichtigen Parameter bei der Einstufung von empfundener Dringlichkeit hervor. Je kürzer die Pause zwischen den Impulsen, desto dringender wird das Signal empfunden. Das trifft sowohl auf akustische, haptische und optische Signale zu. Die Taktfrequenz ist der verlässlichste Parameter, wenn es um gezielte Übermittlung von Dringlichkeit unter homogenen und heterogenen Bedingungen geht.

Länger andauernde Signale werden als gültige Alarmsignale wahrgenommen und decken sich mit den inneren Vorstellungen des Menschen. Personen stützen ihre Entscheidungen vielmehr auf die Annahme, dass die Signaldauer der Indikator für einen ernst zu nehmenden Alarm ist. Andere Faktoren, wie die Alarmrate, haben keinen Einfluss auf die Entscheidungsprozesse.

Erhebliche Unterschiede zeigen sich bei der geschlechtsspezifischen Wahrnehmung von Vibrationen. Der Einsatz von mehreren Stimuli am Rücken setzt einen Mindestabstand der Vibratoren voraus. So beträgt die Differenz des Mindestabstandes zwischen Männern und Frauen 5 Zentimeter. Bei der Steigerung der Intensität der Vibratoren tendiert der Mindestabstand zwischen zwei Vibratoren zur Abnahme. Frauen und jüngere Personen reagieren auf Vibrationen grundsätzlich sensibler als Männer und ältere Personen.

Die Wahrnehmungsschwelle von Vibrationen kann nicht eindeutig festgelegt werden und ist von der Position und Ausrichtung der Vibratoren abhängig. Die niedrigsten Werte werden am Gesäß bei horizontaler Ausrichtung und die höchsten am Rücken bei vertikaler Ausrichtung festgestellt. Allgemein wird die indirekte Abstrahlungsrichtung am Gesäß und die horizontale am Rücken bevorzugt.

Vibrationsmuster mit der Impulsdauer von einigen Sekunden und kurzen Pausen werden am angenehmsten empfunden, während lange Pausen zwischen den Impulsen unbeliebt sind. Die größte Aufmerksamkeit erregen Impulsstöße und Pausen im Zehntelsekundenbereich.

Akustische und visuelle Reize unterstützen einander und sind gemeinsam in der Lage ein höheres Gefahrenpotenzial zu signalisieren, als ein Reiz für sich alleine. Pausen zwischen den Blinkzeichen sind effektiver als kontinuierliches Blinken. Der empfundene Gefährdungsgrad steigt mit zunehmendem Blinkmodus und zunehmender Blinkfrequenz. Innerhalb der Farben hat Rot die meiste Aussagekraft und wird am häufigsten benutzt, um Gefahrensituationen anzuzeigen.

Die Bereitstellung von redundanten Informationen über mehrere sensorische Kanäle hilft die Reaktionszeit und Fehlerquote zu verbessern und spricht daher für die synchrone Ausstrahlung von akustischen und visuellen Stimuli. Bei der Wahrnehmung von akustischen und visuellen Stimuli auf der gleichen Seite ist die rechte Seite der linken vorzuziehen. Bei asynchroner Ausstrahlung der Signale sollte die visuelle Komponente vor der akustischen wahrnehmbar sein und die zeitliche Verschiebung über der Reaktionszeit der beiden Signalkategorien liegen.

Neben den Erkenntnissen aus der Literaturrecherche bleiben dennoch einige Fragen offen. Die Daten von akustischen Komponenten waren in den Studien teilweise nicht nachvollziehbar. Rechnerisch ermittelte Werte wie Periodendauer und Frequenz waren aus den gegebenen Daten nicht ableitbar. Die größte Diskrepanz bestand hinsichtlich der Angaben von haptischen Daten. Die technischen Daten der verwendeten Vibratoren waren entweder unzureichend oder nicht mehr feststellbar. Die Amplituden waren entweder in G-Werten (Erdbeschleunigung) oder in der Dimension Länge ausgedrückt. Da keine genauen Daten bezüglich der verwendeten

Vibratoren und keine Informationen zu den Rahmenbedingungen des Experiments zur Verfügung standen, waren Vergleiche der Werte untereinander nicht möglich.

Hinsichtlich der Erforschung von taktilen Reizen ist die Autoindustrie anderen Branchen weit voraus. Da der akustische und optische Sinn beim Autofahren bereits stark beansprucht wird, bietet sich die Informationsübertragung über den haptischen Sinneskanal an. Außerdem sind Motoren von Vibratoren extrem klein und stellen wenig Anforderungen an Mechanik und Elektrik. Interessant wären Studien, in denen Vibrationen direkt auf der betreffenden Oberfläche gemessen werden. Gerade bei „microSNIFF“ stellt sich die Frage, welche Vibrationsintensitäten notwendig sind, damit diese auch beim Tragen von Schutzausrüstung wahrgenommen werden. In weiterer Folge stellt sich die Frage, ob Vibrationen, die trotz Tragen von Schutzausrüstung bemerkt werden, nicht zu laut sind. Gerade Sondereinheiten von Polizei und Militär wären hiervon betroffen. Als Alternative wäre beispielsweise die Anbringung von Vibrationsplättchen über eine externe Schnittstelle am Unterarm möglich. Zum einen würden durch die externe Schnittstelle die Kosten des Gerätes steigen und zum anderen würde die Handhabung solch einer Erweiterung infrage gestellt werden. Aus diesem Grund sind augenblicklich alle Signalgeber im Gerät untergebracht.

Keine Studien waren bezüglich des multimodalen Einsatzes von akustischen, visuellen und taktilen Signalen zu finden. Ebenfalls keine aussagekräftigen Ergebnisse ergab die Recherche von Vergleichen zwischen Studien mit akustisch-visuellen und akustisch-taktilen Untersuchungen.

Leitlinien¹³⁹ sehen vor, dass die Sensoren von Gaswarngeräten aufgrund von Verschleiß jeden Tag beziehungsweise vor jedem Einsatz (einsatztäglich) mit Prüfgas auf Funktionstüchtigkeit getestet werden. Die einsatztägliche Prüfung muss vom Benutzer ausgeführt werden können. Dazu ist eine Teststation notwendig, die jedoch den Umfang dieses Projektes sprengen würde und zukünftig in einem eigenen Projekt behandelt werden wird.

¹³⁹ vgl. ÖBFV-Infoblatt E-23, Mobile Gasmessgeräte/Gaswarngeräte – Einsatztägliche Prüfung mit Prüfgas, 6. April 2013

6 Anhang

6.1 Anhang A

| | Level | # of Pulses | FFq (Hz) | IPI (ms) | Length (ms) | Intensity (dBA) |
|------------------------------|-------|-------------|------------|------------|-------------|-----------------|
| Pulse Rate | 1 | 4 | 300 | 475 | 2225 | 75 |
| | 2 | 5 | 300 | 302 | 2210 | 75 |
| | 3 | 6 | 300 | 238 | 2389 | 75 |
| | 4 | 8 | 300 | 118 | 2430 | 75 |
| | 5 | 9 | 300 | 60 | 2280 | 75 |
| | 6 | 10 | 300 | 50 | 2450 | 75 |
| | 7 | 12 | 300 | 9 | 2499 | 75 |
| Fundamental Frequency | 1 | 6 | 210 | 0 | 1200 | 75 |
| | 2 | 6 | 250 | 0 | 1200 | 75 |
| | 3 | 6 | 260 | 0 | 1200 | 75 |
| | 4 | 6 | 320 | 0 | 1200 | 75 |
| | 5 | 6 | 440 | 0 | 1200 | 75 |
| | 6 | 6 | 500 | 0 | 1200 | 75 |
| | 7 | 6 | 680 | 0 | 1200 | 75 |
| Intensity | 1 | 6 | 300 | 0 | 1200 | 66 |
| | 2 | 6 | 300 | 0 | 1200 | 69 |
| | 3 | 6 | 300 | 0 | 1200 | 72 |
| | 4 | 6 | 300 | 0 | 1200 | 75 |
| | 5 | 6 | 300 | 0 | 1200 | 78 |
| | 6 | 6 | 300 | 0 | 1200 | 81 |
| | 7 | 6 | 300 | 0 | 1200 | 84 |

Abbildung 31: Beschreibung der verwendeten Töne. Die fett geschriebenen Daten kennzeichnen die veränderten Parameter innerhalb der Ton-Blöcke¹⁴⁰

¹⁴⁰ Gonzalez, 2012, S.46

6.2 Anhang B¹⁴¹

Das Produkt Rahmenbedingungen - Muss

- Hauptziel ist der Entwicklung eines (low cost) Detektorsystems für flüchtige, kritische Substanzen, welches als persönliche Schutzausrüstung von First Respondern dienen soll, d.h. eine optimale Lösung unter Berücksichtigung der folgenden Punkte:
 - Möglichst viele Stoffe (breites Spektrum lt. Kick-Off, sowie Stoffgemische)
 - Einsatz weniger Sensoren (Kosten, Kompaktheit,...)
 - Möglichst genau
 - Niedrige Kosten (Einkauf/Produktion und Wartung/Instandhaltung)

- Entwickelt soll ein Alarmgerät (nicht ein Messgerät) werden, d.h. ein Gerät dass:
 - Eine Signalmeldung auslöst bei einer aktuellen Gefahr* für den First Responder
 - Eine Datenspeicherung der aufgenommenen Information über die Messungen sicherstellt

*in Bezug auf einen temporären Situation

¹⁴¹ (vgl.) o.V.: „microSNIFF“, Arbeitsmeeting: Anforderungsanalyse, Wien, 30.03.2012, S.21ff.

Einsatzgebiete (Einsatzorganisation)

- Unter den primären Einsatzorganisationen liegen keine große Unterschiede

| Primäre Einsatzgebiete | Untergruppen | Anmerkungen |
|---------------------------|---|---|
| Polizei | | |
| Bundesheer | Militär | <ul style="list-style-type: none"> • Anforderung an Detektion von Kampfstoffen, Teil des Individualschutzes (große Gruppe) |
| | Feuerwehr | <ul style="list-style-type: none"> • Anforderung an Detektion von Kampfstoffen |
| Feuerwehr | | <ul style="list-style-type: none"> • Große breite Gruppe mit im Prinzip identischen Anforderungen |
| Rettung | | <ul style="list-style-type: none"> • Ähnlich wie bei den primären Einsatzgebieten; Annahme - Schulungsbedarf auf das Gerät und zur Panikvermeidung höher als bei den primären Einsatzgebieten. • Grundsätzlich ist die Rettung als sekundäres Einsatzgebiet zu berücksichtigen aber aktiv gefragt (v.a. im Bezug auf Panikvermeidung) |
| Sekundäre* Einsatzgebiete | Untergruppen | Anmerkungen |
| Industriekunden | Bspw. Betriebsfeuerwehr, externe Sicherheitsdienst | <ul style="list-style-type: none"> • Potentiale: höherer Absatz → höhere Stückzahlen → niedrige Produktionskosten je Stück • Zu betrachten wären ggf. Unterschiede in Gesetzen und Regelungen • Grundsätzlich kein Widerspruch zwischen Industrie und Feuerwehr und ist deshalb als Anwender mit einzubeziehen; insofern, dass es aus technischer Sicht keine Unterschiede zu den primären Einsatzgebieten gibt. |

*weiter e ggf. Einsatzgebiete

Berücksichtigung von (organisationsinternen) Anwendern bei der Anforderungsanalyse

| Anwender | Anmerkungen |
|------------------------|---|
| Einsatzkraft (Enduser) | |
| Wartungsbeauftragte | <ul style="list-style-type: none"> • Haben größeres Wissen im Umgang und mit der Wartung von den Alarmgerät |
| Einkäufer | <ul style="list-style-type: none"> • Einkäufer wird ausschließlich über Kosten-(Nutzen)aspekte bei den Anforderungen berücksichtigt (Einkaufs- und Wartungskosten) |

- Weitere mögliche Anwender werden bei der Anforderungsanalyse und der Erstellung des Lastenhefts **nicht** berücksichtigt

Anforderungsanalyse Panikvermeidung

| Bereich | Anforderung | Anmerkungen |
|------------------------|---|---|
| Stresskontrolle | Intuitive Umgang | <ul style="list-style-type: none"> • Arbeit unter Zeitdruck |
| | Entscheidungsunterstützend | <ul style="list-style-type: none"> • Verhaltensanweisungen zur Stresskontrolle • Eindeutige Vorhaben • Visualisierung von Anweisungen |
| | Motivationsunterstützend | <ul style="list-style-type: none"> • Vermeidung von Demotivation (Lärm) • Feedback bei Handlungen (Bspw. Funkverbindung) |
| | Berücksichtigung von Massenpsychologischen Phänomenen | <ul style="list-style-type: none"> • Diskretion bei Alarmgebung |
| Geborgenheit | Sicherheitsgefühl des End-users | <ul style="list-style-type: none"> • Der User soll wissen ob das Gerät vorhanden (am Körper) / funktionsfähig ist • Gerät soll im Hintergrund arbeiten und erst bei Gefahrensituation in den Vordergrund treten (→ eindeutige Signalgebung bei Gefahrensituation) |

- Die Anwender sind für die Einsatzsituation geschult*; dadurch bestehen grundsätzlich keine weiteren Anforderungen in Bezug auf Panikvermeidung
- Dokumentation zur Belegung der Berücksichtigung der unterschiedlichen Panikvermeidungsaspekte der primären Einsatzorganisationen folgt
- Bei ungeschultem Personal sind Anforderungen zum Thema aktiv zu befragen

*Training gilt als eine der großen Maßnahmen der Panikvermeidung

Anforderungsanalyse Ergonomie

| Bereich | Anforderung | Anmerkungen |
|-----------------------|--|---|
| Beweglichkeit | Gewährung der Bewegungsfreiheit | <ul style="list-style-type: none"> • Enduser ist in Bedienbarkeit durch bspw. Schutzmaske und Schutzhandschuhe eingeschränkt und darf durch das Produkt nicht erheblich weiter eingeschränkt werden (siehe Anforderung Positionierung bzw. Größe) • So klein wie möglich, Richtgröße – Zigaretenschachtel (bei der Gewichtung weitere Aspekte wie Bedienbarkeit betrachten) • Leicht und handlich • Niedriges Gewicht, der Enduser hat viel Ausrüstung und der Geruchsdetektor darf deshalb sein Tragegewicht nicht erheblich erhöhen |
| Positionierung | Einfache und sichere Befestigung des Gerätes | <ul style="list-style-type: none"> • Zuverlässig und Genormt |
| | Flexible Befestigungsmöglichkeiten | <ul style="list-style-type: none"> • Bspw. Schutzweste, Rucksack, etc. • Unterschiedliche Aufhängprinzipien (bspw. Drehbare Clips) |
| | Wahrnehmungssicherheit | <ul style="list-style-type: none"> • Das Gerät darf die Wahrnehmung der Umgebung des Endusers nicht „einschränken“ (visuell und akustisch) • Signal muss trotzdem klar erkennbar (wahrnehmbar) sein! |

Anforderungsanalyse

Technische Anforderungen

(1/2)

| Bereich | Anforderung | Anmerkungen |
|------------------------------------|--|---|
| Detektion von Gefahrstoffen | Analyse von breitem Spektrum an Gefahrstoffen (auch Gemische) lt. Kick-Off | <ul style="list-style-type: none"> Laut Definition von Kick-Off bzw. weiterem Projektverlauf |
| | Genau und korrekte Messung | <ul style="list-style-type: none"> Möglichst genau den 0-Punkt ermitteln |
| Handhabung | Einfache und sichere (fehlfreie) Handhabung | <ul style="list-style-type: none"> Einmal einstellbar (Enduser kann danach selbst keine weitere Einstellungen (ggf. ein Ein- und evtl. Ausschalten) durchführen, machbar durch Softwareeinstellung) Abruf von Daten zur Auswertung von qualifizierten Personal (muss nicht am Einsatzgebiet sein) nach dem Einsatz – Auswertung auch Teil der Entscheidung über Einsatzmaßnahmen Ablesbarkeit/Signalwahrnehmung muss durch Schutzmaske möglich sein Muss mit Handschuhen bedienbar sein Keine extra Bedienung außer Ein- und Ausschalten |
| | Datenspeicherung | <ul style="list-style-type: none"> Nachträgliche Auslesbarkeit der Schadstoffbelastung Speicherung nur von allen Messwerten |
| | Dataübertragungs-Schnittstelle | <ul style="list-style-type: none"> Z.B. USB (Nur um Data zu Ablesen) WLAN, Funk etc. nicht notwendig (Kosten!) |
| | Modulare Gerätearchitektur | <ul style="list-style-type: none"> Offene Struktur/Architektur (Mögl. für unterschiedl. Ausführungen, Add-Ons) |
| | Voreinstellbare Funktionen | <ul style="list-style-type: none"> Einstellung der Signalgebung (Blitzen, Lärm, Stärke etc.) → Voreinstellung durch Wartungsbeauftragten adaptierbar für div. Fälle |

Anforderungsanalyse Technische Anforderungen

(2/2)

| Bereich | Anforderung | Anmerkungen |
|-------------------|---|--|
| Signal- gebung | Signal Szenario - Abhängig | <ul style="list-style-type: none"> • Feuerwehr: Hell und Laut • Polizei und Sondereinsatzkräfte: Möglichkeit zur Diskretion, Sondereinsatzkräfte kein Ton (nicht über den Kopfhörer, Aufblinken ok) • Bei lauter Umgebung: Signalstärke-Erhöhung möglich – automatische Anpassung? • Soldat der Zukunft: (Display im Visier, Kopfhörer, etc.) → noch keine definierte Schnittstelle existent |
| | Deutliches Signal bei Gefahr | <ul style="list-style-type: none"> • Deutliches Signal bei vorhandener (erhöhter) bzw. lebensbedrohlicher Schadstoffkonzentration • Eindeutige Signalgebung bei Alarmauslösung |
| | Statusmeldungen üb. Einsatzbereitschaft | <ul style="list-style-type: none"> • Statusmeldung: Einsetzbereit • Statusmeldung: Fehlfunktion |
| | Mehrstufiger Alarm | <ul style="list-style-type: none"> • Stufenweise Signalgebung / Mehrstufiges-Alarmsystem (1 – Rettung durchführen, 2 – aus Gefahrenbereich unverzüglich entfernen, Schutzvorrichtungen (bspw. Rückzug oder Schutzausrüstung) • Konzentration oder Anstieg in Konzentration (inkl. Gradient) – Vorwarnung |
| | Angemessene Aktualisierung und Statusmeldung des Messergebnisses | <ul style="list-style-type: none"> • So oft wie möglich (Richtwert ~20 Sek bis 60 Sek) – begrenzt durch technische Machbarkeit • Zusätzliche Zeit zur Umsetzung von Sicherheits-/Schutzmaßnahmen berücksichtigen (Militär 30 Sek, z.B. anlegen der Gasmasken, etc.) • Zeitnahe Alarmgebung bei Schwellwert bzw. Gradient |
| | Signal an Schutz- ausrüstung anpassbar | <ul style="list-style-type: none"> • Signalgebung an den End-User notwendig beim Einsatz mit Schutzausrüstung? • Weitere Berücksichtigungspunkten? |

Anforderungsanalyse (1/2)

RAMS (Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit, Sicherheit)

| Bereich | Anforderungen | Anmerkungen |
|------------------------|--|---|
| Zuverlässigkeit | Einfache/Eindeutige Sicherstellung der Funktionstüchtigkeit | <ul style="list-style-type: none"> • Möglichkeit zur Festlegung ob Teile nach Funktionsfähig sind (Testlauf) <ul style="list-style-type: none"> - (Muss) • Tägliche Tests • Prüfstationen? • Selbsttest beim Hochfahren |
| | Möglichkeit Gerät auszuschalten | <ul style="list-style-type: none"> • Gerät Ein- und Ausschalten • Alarm Ausschalten |
| | Funktionstüchtigkeit unter verschiedenen Betriebsverhältnissen | <ul style="list-style-type: none"> • Temperatur (-wechsel) • Feuchtigkeit (Bspw. Wetterschutz) • Wind |
| | Anzeige von Fehlfunktionen | <ul style="list-style-type: none"> • Siehe Signalmeldung (technische Anforderungen) |
| | Hohe Stoßsicherheit | <ul style="list-style-type: none"> • Robuste Ausführung • Explosions-Schutz (Standards bzw. Normen) |
| Sicherheit | Gewährleistung des Personenschutzes | <ul style="list-style-type: none"> • Siehe Explosionsschutz • Siehe keine Beeinträchtigung auf Wahrnehmung |

Anforderungsanalyse (2/2)

RAMS (Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit, Sicherheit)

| Bereich | Anforderungen | Anmerkungen |
|---------------------------|--|--|
| Instandhaltbarkeit | Sichere Wartung | <ul style="list-style-type: none"> Keine Risiko zur Beeinträchtigung der Funktionsfähigkeit des Gerätes |
| | Geringer geräte technischer Wartungsaufwand | <ul style="list-style-type: none"> Kostengünstige Wartung Kurzweilige Wartung Wie oft ist ein Tausch von Sensoren notwendig? Von wem wird den Tausch gemacht (Wartungsbeauftragter, Servicefirma, etc.)? Kosten Kalibrierung? Wartung ohne notwendige Expertise (Wunsch) |
| | Rücksicht auf „Akkupflege“ | <ul style="list-style-type: none"> Wechselbatterien/Standardakkus (mit Klappe) Möglichkeit Akku/Sensor separat zu tauschen? Oder Kassetten-Betrieb (teuer aber einfach) Ladekonsolen? |
| | Möglichkeit zur klaren Kennzeichnung des Gerätes | <ul style="list-style-type: none"> Zuordenbarkeit des Gerätes zu Einsatzkräften Identifizierung |
| Verfügbarkeit | Lange Betriebsdauer | <ul style="list-style-type: none"> Min 12h (Bsp. Rettungsdienst) Ein- und Ausschalten |
| | Lebensdauer des Gerätes | <ul style="list-style-type: none"> Sensoren sind Engpass Gerät ist abhängig von Ersatzteillieferbarkeit |

6.3 Anhang C¹⁴²

Top 10 – Anforderungen (mit 53% der Gesamtpunkte)

| Rang | Anforderung | Punktvergabe |
|------|---|--------------|
| 1 | Deutliches Signal bei Gefahr | 16 |
| 2 | Einfache und sichere (fehlerfreie) Handhabung | 14 |
| 3 | Geringer gerätetechnischer Wartungsaufwand | 12 |
| 4 | Gewährleistung der Bewegungsfreiheit | 11 |
| 4 | Genaue und korrekte Messung | 11 |
| 6 | Funktionsfähigkeit unter verschiedenen Betriebsverhältnissen | 10 |
| 7 | Gewährleistung des Personenschutzes | 9 |
| 7 | Hohe Stoßsicherheit | 9 |
| 7 | Analyse von breitem Spektrum an Gefahrstoffen (auch Gemische) | 9 |
| 7 | Lange Betriebsdauer | 9 |

■ Wichtigsten Anforderungen deutlich erkennbar

¹⁴² (vgl.) o.V.: „microSNIFF“, Gewichtung Anforderungsanalyse, Wiener Neustadt, 22.06.2012, S.4ff.

Anforderungen mit mittlerer Wichtigkeit

| Rang | Anforderung | Punktvergabe |
|------|--|--------------|
| 11 | Anzeige von Fehlfunktionen | 8 |
| 11 | Einfache und sichere Befestigung des Gerätes | 8 |
| 13 | Sicherheitsgefühl des End-Users | 7 |
| 13 | Flexible Befestigungsmöglichkeiten | 7 |
| 15 | Statusmeldungen über Einsatzbereitschaft | 6 |
| 15 | Einfache/Endeutige Sicherstellung der Funktionstüchtigkeit | 6 |
| 15 | Intuitiver Umgang | 6 |
| 15 | Sichere Wartung | 6 |
| 15 | Rücksichtnahme auf "Akkupflege" | 6 |
| 20 | Möglichkeit Gerät auszuschalten | 5 |
| 20 | Angemessene Aktualisierung des Messergebnisses | 5 |
| 22 | Dataübertragungsschnittstelle | 4 |
| 22 | Entscheidungs-unterstützend | 4 |
| 22 | Lebensdauer des Gerätes | 4 |

Bottom 10 – Anforderungen (mit 6% der Gesamtpunkte)

| Rang | Anforderung | Punktvergabe |
|------|---|--------------|
| 25 | Datenspeicherung | 3 |
| 25 | Mehrstufiger Alarm | 3 |
| 27 | Wahrnehmungssicherheit | 2 |
| 27 | Modulare Gerätearchitektur | 2 |
| 27 | Voreinstellbare Funktionen | 2 |
| 30 | Signal an Schutzausrüstung anpassbar | 1 |
| 30 | Signal szenarioabhängig | 1 |
| 30 | Motivations-unterstützend | 1 |
| 33 | Berücksichtigung von Massenpsychologischen Phänomenen | 0 |
| 33 | Möglichkeit zur klaren Kennzeichnung des Gerätes | 0 |

- U.A. Adaptierbarkeit und Extra-Funktionen als „Nice-to-have“

| Aspekte | Bereich | Anforderung | Summe Punkte | % | %-kum | Klassifizierung | |
|--------------------------|-----------------------------|---|--------------|-----|-------|-----------------|---|
| Technische Anforderungen | Signalgebung | Deutliches Signal (bei Gefahr); (bspw. mehrstufiger Alarm, etc.) | 148 | 11% | 11% | A | |
| Panikvermeidung | Stresskontrolle | Einfache und sichere (fehlerfreie) Handhabung / intuitiver Umgang / Sicherheitsgefühl des End-Users | 148 | 11% | 22% | | |
| RAMS | Zuverlässigkeit | Einfache/Eindeutige Sicherstellung der Funktionstüchtigkeit / Statusmeldung über Einsatzbereitschaft / Anzeige von Fehlfunktionen / Möglichkeit Gerät auszuschalten | 130 | 10% | 32% | | |
| Technische Anforderungen | Detektion von Gefahrstoffen | Analyse von breitem Spektrum an Gefahrstoffen (auch Gemische) | 113 | 8% | 40% | | |
| Ergonomie | Beweglichkeit | Gewährleistung der Bewegungsfreiheit | 103 | 8% | 48% | | |
| Ergonomie | Positionierung | Einfache und sichere Befestigung des Gerätes / Flexible Befestigungsmöglichkeiten / Wahrnehmungssicherstellung | 98 | 7% | 56% | | |
| RAMS | Zuverlässigkeit | Funktionstüchtigkeit unter verschiedenen Betriebsverhältnissen / hohe Stoßsicherheit | 97 | 7% | 63% | | |
| RAMS | Instandhaltbarkeit | Sichere Wartung / geringer geräte technischer Wartungsaufwand / Akkupflege | 83 | 6% | 69% | | |
| Technische Anforderungen | Detektion von Gefahrstoffen | Genaue und korrekte Messung / angemessene Aktualisierung | 78 | 6% | 75% | | B |
| RAMS | Sicherheit | Gewährleistung des Personenschutzes | 71 | 5% | 80% | | |
| RAMS | Instandhaltbarkeit | Lange Betriebsdauer | 71 | 5% | 86% | | |
| Panikvermeidung | Stresskontrolle | Entscheidungs- / Motivations-unterstützend | 59 | 4% | 90% | C | |
| RAMS | Instandhaltbarkeit | Lebensdauer des Gerätes | 53 | 4% | 94% | | |
| Technische Anforderungen | Datenspeicherung | Datenspeicherung / Dataübertragungsschnittstelle | 40 | 3% | 97% | | |
| Technische Anforderungen | Signalgebung | Signal szenarioabhängig / Signal an Schutzausrüstung anpassbar / Funktionen voreinstellbar | 29 | 2% | 99% | | |
| Technische Anforderungen | Adaptierbar | Modulare Gerätearchitektur / Kennzeichnung des Gerätes | 12 | 1% | 100% | | |

7 Literaturverzeichnis

Baldwin, C. L.; Eisert, J. L.; Garcia, A.; Lewis, B.; Pratt, S. M.; Gonzalez, C.: Multimodal urgency coding: auditory, visual, and tactile parameters and their impact on perceived urgency, in: *Work*, 41 (2012), S.3586-3591

Bliss, J. P.; Fallon, C. K.; Nica, N.: The role of alarm signal duration as a cue for alarm validity, in: *Applied Ergonomics*, 38 (2007), S.191-199

Bruck, D.; Ian, T.: Strobe lights versus auditory smoke alarm signals, Effectiveness for waking up selected populations, in: *The Irish Journal of Psychology*, 30 (2009), S.21-36

Brüggemann, H.; Bremer, P.: Grundlagen Qualitätsmanagement, Von den Werkzeugen über Methoden zum TQM, Springer Vieweg, Wiesbaden, 2012

Catchpole, K. R.; J Denis McKeown, J. D.; Withington, D. J.: Localizable auditory warning pulses, in: *Ergonomics*, 47 (2004), S.748-771

Chan, A. H. S.; Chan, K. W. L.: Synchronous and asynchronous presentations of auditory and visual signals: Implications for control console design, in: *Applied Ergonomics*, 37 (2006), S.131-140

Chan, A. H. S.; Ng, A. W. Y.: Perceptions of implied hazard for visual and auditory alerting signals, in: *Safety Science*, 47 (2009), S.346-352

Chun, J.; Oh, S.; Han, S. H.; Park, G.; Seo, J.; Choi, S.; Han, K.; Park, W.: Evaluating the effectiveness of haptic feedback on a steering wheel for FCW, Proceedings of the 9th Pan-Pacific Conference on Ergonomics, Taiwan, November 2010

DIN 14610:2009-01, Akustische Warneinrichtungen für bevorrechtigte Wegebeneutzer

DIN 33404:1982, Teil 3, Gefahrensignale für Arbeitsstätten, Akustische Gefahrensignale, Einheitliches Notsignal, Sicherheitstechnische Anforderung, Prüfung

DIN 6163:1975, Teil 1, Farben und Farbgrenzen, Allgemeines

DIN EN 842:2009-01, Sicherheit von Maschinen – Optische Gefahrensignale – Allgemeine Anforderungen, Gestaltung und Prüfung

DIN EN 981:2009-01, Sicherheit von Maschinen – System akustischer und optischer Gefahrensignale und Informationssignale

DIN EN ISO 7731:2008-12, Ergonomie – Gefahrensignale für öffentliche Bereiche und Arbeitsstätten – Akustische Gefahrensignale

- Duden – Das Fremdwörterbuch, 10. Aufl., Mannheim, 2010 [CD-ROM]
- Erlhoff, M.; Marshall, T. (Hg.): Wörterbuch Design, Begriffliche Perspektiven des Design, Birkhäuser Verlag AG, Basel, Boston, Berlin, 2008
- Gonzalez, C.; Lewis, B. A., Baldwin, C. L.: Revisiting pulse rate, frequency and perceived urgency: Have relationships changed and why?, Proceedings of the 18th International Conference on Auditory Display, Atlanta, USA, 18. - 21. Juni 2012, S.44-51
- Görne, T.: Tontechnik, Carl Hanser Verlag, Wien, München, 2006
- Haas, E. C.; Edworthy, J.: Designing urgency into auditory warnings using pitch, speed and loudness, in: Computing & Control Engineering Journal, 7 (1996), S.193-198
- Ji, Y. G.; Lee, K.; Hwang, W.: Haptic Perceptions in the Vehicle Seat, in: Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries, 21 (2011), S.305-325
- Karutz, H.: Handlungsfähig bleiben – aber wie?, Selbsthilfestrategien bei akuter Belastung im Einsatz, in: Der Notarzt, 29 (2013), S.58-63
- Lasogga, F.; Gasch, B. (Hrsg.): Notfallpsychologie, Lehrbuch für die Praxis, 2., überarbeitete Auflage, Springer Medizin Verlag, Heidelberg, 2011
- Lindeman, R. W.; Yanagida, Y.; Noma, H.; Hosaka, K.: Wearable vibrotactile systems for virtual contact and information display, in: Virtual Reality, 9 (2006), S.203-213
- McDougald, B. R.; Wogalter, M. S.: Facilitating pictorial comprehension with color highlighting, in: Applied Ergonomics, 2013, in Press, <http://dx.doi.org/10.1016/j.apergo.2013.05.008>
- Morschitzky, H.: Angststörungen, Diagnostik, Konzepte, Therapie, Selbsthilfe, 4., überarbeitete und erweiterte Auflage, Springer-Verlag, Wien, 2009
- Möser, M. (Hrsg.): Messtechnik der Akustik, Springer-Verlag, Wien, Heidelberg, 2010
- Ng, J. Y. C.; Man, J. C. F.; Fels, S.; Dumont, G.; Ansermino, J. M.: An Evaluation of a Vibro-Tactile Display Prototype for Physiological Monitoring, in: Anesthesia & Analgesia, 101 (2005), S.1719-1724
- Richter, M.; Flückiger, M. D.: Usability Engineering kompakt, Benutzbare Produkte gezielt entwickeln, 3. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2013
- Schlick, C.; Bruder, R.; Luczak, H.: Arbeitswissenschaft, Unter Mitarbeit von Marcel Mayer und Klaus Fuchs, 3., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2010

Schmidt-Traub, S.: Angst bewältigen, Selbsthilfe bei Panik und Agoraphobie – Den Rückfall vermeiden – Fallbeispiele und konkrete Tipps, 5., vollständig überarbeitete Auflage, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2013

Strauß, B.; Mattke, D. (Hrsg.): Gruppenpsychotherapie, Lehrbuch für die Praxis, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2012

Van Erp, J. B. F.: Guidelines for the Use of Vibro-Tactile Displays in Human Computer Interaction, Proceedings of Eurohaptics, 2002

Vfdb-Richtlinie 10/01:1999, Bewertung von Schadstoffkonzentrationen im Feuerwehreinsatz

Werdich, M. (Hrsg.): FMEA – Einführung und Moderation, Durch systematische Entwicklung zur übersichtlichen Risikominimierung (inkl. Methoden im Umfeld), Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden, 2011

Wittchen, H.-U.; Hoyer, J. (Hrsg.): Klinische Psychologie & Psychotherapie, 2., überarbeitete und erweiterte Auflage, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2011

Wogalter, M. S.; Conzola, V. C.; Smith-Jackson, T. L.: Research-based guidelines for warning design and evaluation, in: Applied Ergonomics, 33 (2002), S.219-230

Zobel, G. P.: Warning tone selection for reverse parking aid system, Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 42nd Annual Meeting, Santa Monica, USA, Oktober 1998, S.1242-1246

8 Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abbildung 1: Methodik beim Verfassen der Diplomarbeit | 5 |
| Abbildung 2: Paniktypen | 9 |
| Abbildung 3: Vergleich der Anwendbarkeit von Methoden auf die Phasen der Produktentstehung | 14 |
| Abbildung 4: Bereiche des House of Quality | 15 |
| Abbildung 5: Einteilung von Kundenanforderungen..... | 17 |
| Abbildung 6: Beispiel für Korrelationssymbole im HoQ | 18 |
| Abbildung 7: Einsparungspotenzial von QFD | 19 |
| Abbildung 8: Informationsübertragung Mensch-Maschine..... | 21 |
| Abbildung 9: Empfundene Dringlichkeit von Ton-Mustern mit hinterlegtem Rauschen | 27 |
| Abbildung 10: Psychophysikalische Kurven | 29 |
| Abbildung 11: Empfundene Dringlichkeit in Abhängigkeit der Pausen zwischen den Impulsen (unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen statistisch signifikante Unterschiede zueinander) | 32 |
| Abbildung 12: Empfundene Dringlichkeit in Abhängigkeit vom Schalldruckpegel (unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen statistisch signifikante Unterschiede zueinander)..... | 32 |
| Abbildung 13: Reaktionszeit in Abhängigkeit der Grundfrequenz (unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen statistisch signifikante Unterschiede zueinander) | 33 |
| Abbildung 14: Reaktionshäufigkeit auf die Alarmsignale als Funktion von Signaldauer, Alarmrate und Test-Block | 34 |
| Abbildung 15: Repräsentativität von Signalen als Funktion von Dauer und Alarmrate | 35 |
| Abbildung 16: Position der Vibratoren im Autositz..... | 36 |
| Abbildung 17: Wahrnehmungsschwelle von Vibrationen..... | 37 |
| Abbildung 18: Gefährdungsgrad als Funktion der Blinkfrequenz und Farbe | 40 |
| Abbildung 19: Gefährdungsgrad als Funktion der Blinkfrequenz und des Blinkmodus..... | 41 |
| Abbildung 20: Synchrone und asynchrone, akustische und visuelle Reize (A500V bedeutet, dass das (A)kustische Signal (500) Millisekunden vor dem (V)isuellen ausgestrahlt wird) | 42 |
| Abbildung 21: Reaktionszeit als Funktion von synchronen und asynchronen Signalverläufen..... | 43 |
| Abbildung 22: Vergleich der Dringlichkeit als Funktion von akustischer, visueller und haptischer Taktfrequenz | 45 |

| | |
|---|----|
| Abbildung 23: Knie beugen bei Tragen von Lasten. Gelbe Hervorhebungen sind mit grauer Farbe dargestellt. V. l. n. r.: Keine Hervorhebung, Hervorhebung nicht relevanter Bereiche, Hervorhebung relevanter Bereiche..... | 48 |
| Abbildung 24: Muss-Anforderungen von „microSNIFF“ | 51 |
| Abbildung 25: Produktmerkmale nach Wichtigkeit..... | 52 |
| Abbildung 26: Korrekte Antworten als Funktion der Abweichung von der Medianebene..... | 53 |
| Abbildung 27: Klangfolge eines Warnsignals..... | 55 |
| Abbildung 28: Signal mit 4 Hertz und 3-fach Modus..... | 57 |
| Abbildung 29: Fehlerquote als Funktion synchroner und asynchroner Signale | 58 |
| Abbildung 30: Prägung der Signale als Morsecode auf das Gehäuse..... | 62 |
| Abbildung 31: Beschreibung der verwendeten Töne. Die fett geschriebenen Daten kennzeichnen die veränderten Parameter innerhalb der Ton-Blöcke | 67 |

9 Formelverzeichnis

| | |
|---|----|
| Formel 1: Stevens´sche Potenzfunktion | 28 |
|---|----|

10 Tabellenverzeichnis

| | |
|--|----|
| Tabelle 1: Kategorie „Töne“ | 23 |
| Tabelle 2: Kategorie „Rauschen“ | 24 |
| Tabelle 3: Signal-Kategorie „Kombinations-Signale“ (WR = Weißes Rauschen, Fb = Frequenzbereich) | 24 |
| Tabelle 4: Überblick über die Exponenten aller 4 Experimente | 30 |
| Tabelle 5: Blinkfrequenz und Blinkmodus im Detail | 38 |
| Tabelle 6: Übersicht über die akustischen Reize (exklusive Testzustand „Stille“) | 39 |
| Tabelle 7: Auflistung der akustischen und visuellen Details sowie den Impulspausen zwischen den haptischen Takten | 44 |
| Tabelle 8: Betriebszustände des Detektors | 60 |
| Tabelle 9: Gestaltung der Signale nach Betriebszuständen | 61 |
| Tabelle 10: Anzeige der Akkukapazität | 63 |
| Tabelle 11: „Kommunikationssignale“ des Gasetektors..... | 63 |

11 Abkürzungsverzeichnis

| | |
|-------------|--|
| AEGL | Acute Exposure Guideline Levels |
| ANSI | American National Standards Institute |
| APA | American Psychiatric Association |
| bzw. | beziehungsweise |
| cm | Zentimeter |
| CWA | Chemical Warfare Agents |
| d.h. | das heißt |
| DSM-IV-TR | Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, Fourth Edition, Text Revision |
| etc. | et cetera |
| F&E | Forschung und Entwicklung |
| GSK | Geistes-, Sozial- und Kulturwissenschaften |
| h | Stunde |
| HoQ | House of Quality |
| Hz | Hertz |
| IMW | Institut für Managementwissenschaften (TU-Wien) |
| ISO | International Organization for Standardization |
| kHz | Kilohertz |
| MAK | Maximale Arbeitsplatzkonzentration |
| max. | maximal |
| mm | Millimeter |
| ms | Millisekunde |
| QFD | Quality Function Deployment |
| s | Sekunde |
| S. | Seite |
| sh. | siehe |
| TIM | Toxische Industrie Materialien |
| u./o.Ä. | und/oder Ähnliche/s |
| v. l. n. r. | von links nach rechts |
| z.B. | zum Beispiel |
| zw. | zwischen |