

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

FAKULTÄT INFORMATIK
INSTITUT FÜR ANGEWANDTE INFORMATIK
PROFESSUR FÜR MENSCH-COMPUTER INTERAKTION
PROF. DR. GERHARD WEBER

Diplomarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades
Diplom-Informatiker

Routenführung durch Sonifikation für Blinde und Sehbehinderte

Johannes Kestel
(Geboren am 27. Juli 1985 in Würzburg)

Betreuer: Dipl.-Inf. Martin Spindler

Dresden, 29. April 2013

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die von mir am heutigen Tag dem Prüfungsausschuss der Fakultät Informatik eingereichte Arbeit zum Thema:

Routenführung durch Sonifikation für Blinde und Sehbehinderte

vollkommen selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt sowie Zitate kenntlich gemacht habe.

Dresden, den 29. April 2013

Johannes Kestel

Kurzfassung

Unbekannte Ziele in öffentlichen Gebäuden zu erreichen, ist ein besonderes Problem für blinde und sehbehinderte Menschen. Es gibt elektronische Hilfsmittel, die dieses Problem lösen, aber meist auf sprachlicher Ausgabe basieren. Die non-verbale Ausgabe der Wegführung hat den Vorteil, dass Informationsübertragung durch kürzere Sinnesreize weniger belasten.

Die vorliegende Arbeit präsentiert eine Benutzungsschnittstelle zur Routenführung durch Sonifikation. Es wurde dafür ein Set von akustischen Signalen erarbeitet, die durch Tonhöhenunterschiede und Stereopanorama Richtungen angeben. Die Wahl dieser Parameter wurde durch einen Labortest ermittelt. Es wurde untersucht, welche Informationen für eine erfolgreiche Routenführung notwendig sind. Durch eine einfach gehaltene Funktionsweise mit turn-by-turn Anweisungen und ohne große Anforderungen an akustische Schnittstellen ist die Benutzungsschnittstelle leicht auf bestehende Navigationssysteme übertragbar. In einem Pilottest wurde das Führungskonzept in einer realitätsnahen Umgebung auf seine Gebrauchstauglichkeit hin überprüft.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
1.1	Motivation	3
1.2	Problemstellung	3
1.3	Aufbau	3
2	Orientierung Blinder und Sehbehinderter	5
2.1	Ursachen von Sehstörungen und Erblindung	5
2.2	Schulung in Orientierung und Mobilität	6
2.3	Gefahren und Hindernisse	7
2.4	Kognitive Karte	8
2.5	Wahrnehmung	8
2.6	Struktur der Umgebung	10
2.7	Elektronic Traveling Aids	10
2.8	Zusammenfassung	15
3	Sonifikation	17
3.1	Definition	17
3.2	Wahrnehmung und Psychologie	18
3.3	Techniken zur Sonifikation	21
3.4	Unterscheidungsmerkmale von Sonifikationen	25
3.5	Digital Sound	26
3.6	Klangsynthese	29
3.7	Gestaltungsraum der Klangerzeugung	31
3.8	Vibrationen	33
3.9	Zusammenfassung	34
4	Anforderungen und Abgrenzungen	35
4.1	Ziel und Abgrenzung	35
4.2	Positionsbestimmung	36
4.3	Routenplanung	37
4.4	Zielführung	38
4.5	Plattform	41
4.6	Nicht funktionale Anforderungen	42
4.7	Funktionale Anforderungen	44
4.7.1	Erkundungsfunktionen	44
4.7.2	Führungsfunktionen	45
4.8	Zusammenfassung	46
5	Richtungssignale	47
5.1	Kriterien für geeignete Muster	47
5.2	Auswahl des Richtungssignals	48
5.3	Gütekriterien von empirischen Experimenten	49
5.4	Durchführung	50
5.5	Erwartungen	52
5.6	Ergebnisse	53

5.7	Auswertung	55
5.8	Zusammenfassung	57
6	Entwurf	59
6.1	Grundstruktur	59
6.2	Zielauswahl	60
6.3	Umgebungsbeschreibung	60
6.4	Routenüberblick	62
6.5	Führung	63
6.5.1	Dynamik	63
6.5.2	Darstellung	67
6.6	Zusammenfassung	69
7	Pilot-Studie	71
7.1	Versuchsaufbau	72
7.2	Ergebnisse	73
7.3	Auswertung	74
7.4	Zusammenfassung	76
8	Fazit	77
	Soundverzeichnis	79
	Literaturverzeichnis	81
	Abbildungsverzeichnis	87
	Tabellenverzeichnis	89
A	Anhang	91
A.1	Befragungsbogen Richtungsdarstellung	91
A.2	Befragungsbogen Pilotversuch	97

1 Einleitung

1.1 Motivation

Unsere Gesellschaft wird immer stärker digitalisiert. Viele Menschen tragen täglich ein Smartphone in der Hosentasche mit sich herum, eine Rechenmaschine mit einer Leistung, die vor zehn Jahren von Desktopsystemen kaum erreicht wurde. Der Trend geht zu unsichtbaren, intuitiven Wearable Computern, die uns das Leben erleichtern, ohne dass sie als Computer wahrgenommen werden. Der Mensch muss sich nicht an den PC anpassen, sondern der Computer passt sich an den Menschen an.

In der Digitalisierung liegt die Chance körperliche Einschränkungen von Menschen auszugleichen. Viele blinde und stark sehbehinderte Menschen sind in ihrer Mobilität sehr eingeschränkt und haben große Probleme ohne fremde Hilfe an Orte zu gelangen, an denen sie noch nicht waren. Es existieren verschiedenste Hilfssysteme zur Lösung dieses Problems, aber gerade Fußgängernavigationssysteme basieren häufig noch auf Techniken, die für Fahrzeuge entwickelt wurden. Die Entwicklung orientiert sich daran, was möglich ist und nicht wie es am einfachsten für den Menschen ist. So sind Navigationssysteme für Fußgänger komplizierter und erfordern viel mehr Aufmerksamkeit vom Nutzer als eigentlich erforderlich wäre. Daher ist es an der Zeit zu überlegen, wie die steigende Digitalisierung noch weiter den Alltag der Menschen erleichtern kann.

1.2 Problemstellung

Heutige Navigationssysteme für Blinde setzen häufig auf sprachliche Ausgaben. Sprache kann zwar komplexe Informationen gut vermitteln, ist dabei aber häufig ineffizient, umständlich und kompliziert. Hört man sich Sprachausgaben an, so wird man stark von der Umgebung abgelenkt und kann diese nicht mehr aufmerksam wahrnehmen. Das Gehör liefert aber blinden Menschen wichtige Informationen über ihre Umgebung und sollte daher möglichst wenig und möglichst kurz belastet werden. Auch sollten sich die dargestellten Informationen auf das Wichtigste beschränken. Wird der Benutzer einer Navigationshilfe mit vielen langen Informationen überschüttet, kann dies zu einer kognitiven Überlastung führen. Gerade während der anstrengenden Aufgabe der Wegfindung sollten die Informationen auf die nötigsten beschränkt werden und so kurz und einfach wie möglich gehalten sein. Sonifikation – die nichtsprachliche, akustische Darstellung von Informationen – stellt einen vielversprechenden Ansatz dar, der in diesem Zusammenhang bisher relativ wenig Beachtung fand und in dieser Arbeit zur Lösung des Navigationsproblems untersucht werden soll. Aus diesen Überlegungen ergibt sich die Aufgabenstellung:

„Mit dieser Arbeit ist eine mobile Anwendung zur Sonifikation zu entwickeln, welche blinde und sehbehinderte Menschen bei der Routenverfolgung und Erkundung unterstützt ohne die akustische Wahrnehmung oder Konzentration auf die Mikronavigation stark einzuschränken.“

1.3 Aufbau

Die Arbeit gliedert sich in einen Theorieteil und einen Entwurfsteil. Im Theorieteil werden die Anforderungen für die Mobilität von Blinden und Sehbehinderten betrachtet, ebenso wie für die Zielgruppe

konzipierte Hilfsmittel. Es werden Rechercheergebnisse zur non-verbale Navigation dargestellt sowie Techniken und Eigenschaften der Sonifikation recherchiert. Im Entwurfsteil werden die Anforderungen der Benutzungsoberfläche erarbeitet, geeignete Signalmuster für Richtungsangaben ausgewählt und durch einen empirischen Laborversuch überprüft. Es wird eine Benutzungsschnittstelle entworfen und durch einen Pilotversuch auf die Gebrauchstauglichkeit überprüft.

2 Orientierung Blinder und Sehbehinderter

Um ein Hilfsmittel für die Navigation zu erstellen, ist es nötig, zunächst festzustellen, welche Informationen für die Navigation und Orientierung relevant sind. Daher wird im folgenden Kapitel erörtert, wie sich blinde und sehbehinderte Menschen in ihrer Umgebung zurecht finden und auf welche Wahrnehmungen sie dafür zurückgreifen. Zunächst wird definiert, wann man als blind beziehungsweise sehbehindert zählt und erklärt, welche Ursachen dazu führen können. Danach werden übliche Techniken für die Mobilität und Orientierung erörtert und welche Gefahren dabei drohen. Die Bedeutung der kognitiven Karte wird angesprochen, welche Umgebungsstrukturen für die Navigation wichtig sind und wie diese wahrgenommen werden. Abschließend werden verschiedene elektronische Hilfsmittel vorgestellt, die zur Unterstützung der Mobilität von blinden Anwendern entwickelt wurden.

2.1 Ursachen von Sehstörungen und Erblindung

Weltweit leben 285 Millionen Menschen mit einer Sehbehinderung, 39 Millionen von ihnen sind blind.¹ Die Ursachen der Sehbeeinträchtigungen sind vielfältig. Die amtliche Klassifikation von Krankheiten und Gesundheitsproblemen erfolgt in Deutschland auf Basis der „Internationalen statistischen Klassifikation der Krankheiten und verwandter Gesundheitsprobleme, 10. Revision, German Modification“ (ICD-10-GM)². Dieses Regelwerk dient als Grundlage der Sozialgesetzgebung in Deutschland und kennt eine Vielzahl von Krankheitsbildern, die das Auge betreffen (Krankheitsgruppen H00–H59). Eines der wichtigsten Kriterien für Blindheit und Sehbeeinträchtigung ist die Sehschärfe (Krankheitsgruppe H54). Die definierten Abstufungen der Sehschärfe sind in Tabelle 2.1 abgebildet. Menschen mit einer Sehschärfe von 30% bis 2% auf dem besseren Auge mit bestmöglicher Korrektur werden als sehbeeinträchtigt eingestuft (Stufe 1-3), Menschen mit 2% und weniger werden als blind bezeichnet (Stufe 4-5). Eine Einschränkung des Gesichtsfeldes des gesünderen Auges bei zentraler Fixation auf weniger als 10 Grad wird ebenfalls der Stufe 3 zugeordnet.

STUFEN	SEHSCHÄRFE MIT BESTMÖGLICHER KORREKTUR
0 - leichte oder keine Sehbeeinträchtigung	> 3/10 (0,3)
1 - mittelschwere Sehbeeinträchtigung	≤ 3/10 (0,3)
2 - schwere Sehbeeinträchtigung	≤ 1/10 (0,1)
3 - hochgradige Sehbehinderung	≤ 1/20 (0,05)
4 - Blindheit	≤ 1/50 (0,02)
5 - Blindheit	keine Lichtwahrnehmung

Tabelle 2.1: Stufen der Sehbeeinträchtigung (Quelle: ICD-10-GM)

Diese Beurteilung der Sehschärfe beschreibt allerdings nicht ausreichend die möglichen Einschränkungen der Sehfähigkeit, dafür ist es sinnvoll die Ursachen von Sehbehinderung und Erblindung zu betrachten. Zum einen gibt es Sehstörungen, wie Farbsinnstörungen, Nachtblindheit oder Störungen des binokularen Sehens, die nicht durch die Sehschärfemessung erfasst werden und dennoch gewisse Einschränkungen im Alltag mit sich bringen können. Andererseits gibt es - neben Geburtsblindheit oder

¹<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs282/en/> Stand: Dezember 2012

²<http://www.dimdi.de/static/de/klassi/icd-10-gm/index.htm> Stand: Dezember 2012

Blindheit durch einen Unfall - verschiedene Erkrankungen, die langsam zur Erblindung führen. Die häufigsten drei Ursachen für Blindheit in Deutschland waren im Jahr 2002 altersbedingte Makuladegeneration (50%), Glaukom (18%) und Retinopathia diabetica (17%) [Ber05].

Die **altersbedingte Makuladegeneration** tritt, wie der Name schon sagt, meist im fortgeschrittenen Lebensalter auf. Im Laufe der Erkrankung sterben die Nervenzellen im Bereich des schärfsten Sehens (Makula) ab. Dies führt zum Verlust der Sehschärfe und zu Ausfällen im zentralen Gesichtsfeld. Durch Behandlung kann die Krankheit gestoppt werden.

Bei einem **Glaukom**, auch grüner Star genannt, handelt es sich um eine Schädigung des Sehnervs, verursacht durch stark erhöhten Augeninnendruck. Er macht sich durch bogenförmige, periphere Gesichtsfeldausfälle bemerkbar. Rechtzeitig erkannt, kann der Augeninnendruck medikamentös oder operativ gesenkt werden.

Retinopathia diabetica wird verursacht durch Diabetes mellitus. Dauerhaft erhöhte Blutzuckerwerte führen zur Einlagerung von Fett- und Eiweißstoffen in die Gefäßwände des Auges, die dadurch platzen können. Bemerkbar macht sich auch diese Erkrankung durch Gesichtsfeldausfälle. Eine Behandlung ist nur bedingt möglich, die wichtigste Maßnahme ist die Vorbeugung von Diabetes.³

2.2 Schulung in Orientierung und Mobilität

Damit sich erblindete und sehbehinderte Menschen in ihrer alltäglichen Umgebung zurechtfinden, werden Trainingsprogramme für Orientierung und Mobilität angeboten.⁴ Dabei werden die Grundlagen vermittelt und eingeübt, wie man sich in seiner Umgebung auch ohne den Sehsinn zurechtfinden kann. Das Schulungsprogramm wird sehr individuell gestaltet und ist stark auf die jeweilige Person abgestimmt. So ist es wichtig zu unterscheiden, ob der Schüler geburtsblind oder später erblindet ist. Im ersten Fall müssen zunächst Kenntnisse über die Grundstrukturen der Umwelt vermittelt werden, beispielsweise wie ein Gebäude, eine Straße mit beidseitigem Gehweg oder Straßenkreuzungen typischerweise aufgebaut sind. Im zweiten Fall hat er bereits dieses Wissen über seine Umgebung erworben und seine kognitive Karte ist vorgeprägt. Weiterhin ist es von Bedeutung, ob jemand völlig erblindet ist oder noch Möglichkeiten hat, sein Restsehvermögen gegebenenfalls mit Hilfsmitteln einzusetzen.

Es werden außerdem die übrigen Sinne geschult, um sie effektiv einsetzen zu können. Durch eine bewusste Wahrnehmung ist es möglich, die aktuellen Situationen zu erkennen und geeignete Handlungsweisen abzuleiten. Mit Hilfe der Schallakustik ist es beispielsweise möglich, entfernte Hindernisse oder Durchgänge wahrzunehmen, ohne sie ertasten zu müssen.⁵ Bei der Technik, die Echoortung oder Klick-Sonar genannt wird, erzeugt man ein Geräusch durch Schnalzen mit der Zunge oder Tippen mit dem Langstock und interpretiert das Geräusch, das von den Objekten in der Umgebung reflektiert wird.

Die Schulung in Orientierung und Mobilität kann weitere grundlegende Techniken beinhalten, die nicht direkt mit der selbständigen Navigation zusammenhängen, unter anderem wie man sich richtig von Sehenden führen lässt oder wie man etwas auf dem Tisch oder am Boden sucht. Das „Five-Point Travel System“ von William H. Jacobsen dagegen ist für die selbständige Orientierung auch in unbekanntem Umgebungen gedacht [Jac93]. Es bezeichnet fünf notwendige Informationen, die dem Anwender der Technik zu jedem Zeitpunkt bekannt sein sollten:

- Das Muster der Route
- Die aktuelle Kompassrichtung
- Die Namen der Gebäude und Gänge

³http://www.absv.de/sbs/sbs_intro.html Stand: Dezember 2012

⁴URL:<http://www.rehalehrer.de/orientierung-mobilitaet/> Stand: Januar 2013

⁵URL: <http://www.dbsv.org/index.php?id=1154> Stand: Januar 2013

- Die Landmarken entlang der Strecke
- Die zurückgelegte Route, um jederzeit zum Ausgangspunkt zurückkehren zu können

Diese Technik hilft ein entferntes Ziel zu finden. Diese Orientierung im großen Maßstab wird auch Makronavigation genannt. Demgegenüber stehen Techniken für die Mikronavigation. Diese helfen dem Anwender Hindernisse und Gefahren zu erkennen und sich entsprechend vor ihnen zu schützen. Zwei weithin bekannte Hilfsmittel dazu sind der Langstock und der Blindenführhund, deren Besonderheiten im Folgenden beschrieben werden:

Für die Mobilität ist insbesondere der Langstock von großer Bedeutung. Zum einen dient er als Erkennungszeichen für andere Verkehrsteilnehmer, dass sie besondere Rücksicht nehmen müssen, zum anderen bietet er bei richtiger Handhabung Schutz vor Hindernissen. So kann sich der Nutzer eines Langstocks selbständig und zügig in öffentlichen Bereichen bewegen, indem er mit dem Langstock rhythmisch in schulterbreiten Pendelbewegungen den Boden vor sich abtastet. Stößt er mit dem Langstock auf ein Hindernis hat er ausreichend Zeit diesem auszuweichen. Dadurch ist er vor Hindernissen geschützt, die sich höchstens in Bauchhöhe befinden, hängende und überhängende Objekte stellen allerdings eine besondere Verletzungsgefahr für Kopf und Oberkörper dar. Mit dem Langstock wird außerdem die Höhe und Beschaffenheit des Untergrunds festgestellt. Wahrgenommene Bordsteinkanten, Abflussrinnen, bestimmte Bodenarten oder Bodenleitsysteme können als Hinweis für die Orientierung genutzt werden.⁶

Ein anderes weithin bekanntes Hilfsmittel sind Blindenführhunde. Diese Tiere haben ein halbes Jahr Ausbildung mit etwa 300 Stunden Training hinter sich, für die sich nur besonders intelligente, friedfertige, junge und belastbare Tiere eignen. Ein ausgebildeter Führhund kann auf Ansage selbstständig Verkehrswege benutzen, Objekte aufsuchen und vor Gefahren warnen. Bei der Arbeit trägt er ein starres, weißes Führungsgeschirr, durch das der Halter jederzeit die Richtung des Hundes mit der Hand spürt. Für Blindenführhunde gelten Sonderregelungen, so dass sie Bereiche und Gebäude wie Spielplätze, Krankenhäuser oder Geschäfte betreten dürfen, in denen ihre Artgenossen unerwünscht sind. Die Führhunde selbst können sich auch verletzen, so sollten mit dem Hund keine Rolltreppen benutzt werden.⁷

2.3 Gefahren und Hindernisse

Gefahren sind Objekte, die trotz der Anwendung von Techniken aus dem Orientierungs- und Mobilitätstraining bei der Fortbewegung nicht rechtzeitig wahrgenommen werden können und somit ein Verletzungsrisiko darstellen. Dies sind meist Gegenstände, die mit den Langstock nicht ertastet werden können, weil sie sich weiter als circa 30 cm über dem Boden befinden. Beispiele hierfür sind Feuerlöscher und unterlaufbare Treppen. Eine weitere Quelle von Gefahren sind schlecht gesicherte Baustellen oder die Gleise am Bahnsteig, die schnell eine Lebensgefahr darstellen, wenn sie nicht rechtzeitig bemerkt werden.

Hindernisse bergen nur eine geringe oder keine Verletzungsgefahr, sondern beeinflussen nur die Orientierung negativ. Wenn ein unerwartetes Objekt den gewohnten Weg versperrt, muss es umgangen werden. Dadurch kommt es zu zusätzlichen Richtungsänderungen, wodurch leicht vergessen werden kann, in welche Richtung man gerade gelaufen ist. Typische Hindernisse sind Bänke, Mülleimer, Tische, Stühle und Menschenmengen.

⁶URL: http://www.bsv-altenburg.de/download/OundM_Schulung.pdf Stand: Januar 2013

⁷URL: http://www.bsv-suedbaden.org/tl_files/downloads/Mit_anderen_Augen_sehen.pdf Stand: Januar 2013

2.4 Kognitive Karte

Grundlage der Orientierung ist die kognitive Karte. Die kognitive Karte ist ein mentales Abbild der Umwelt.[BK02] Sie ermöglicht es, sich selbstständig in der Umgebung zurecht zu finden. Die Wahrnehmung der Umwelt ist bei sehenden Menschen zum großen Teil visuell geprägt. Es werden aber auch andere Sinneseindrücke verwendet, die bei Blinden entsprechend mehr Bedeutung besitzen. Der Mensch nimmt Bilder, Geräusche, Gerüche, Ertastetes, Sprache, Handlungen und auch Gefühle wahr, verknüpft sie miteinander und fügt die Wahrnehmung so zu einem Gesamtbild einer Situation zusammen. Aus der Situation wird räumliches Wissen extrahiert und strukturiert. Man kann sich die kognitive Karte folglich nicht wie einen einfachen Stadtplan vorstellen, vielmehr setzt sie sich aus den subjektiven Sinneseindrücken der verschiedenen Situationen zusammen, aus denen Informationen über Landmarken, Strecken und Bereiche geschlussfolgert werden, um damit räumliche Probleme lösen zu können.

Welche Umgebungseigenschaften wie rezipierbar sind, werden im folgenden Abschnitt erörtert.

2.5 Wahrnehmung

Orientierung ist nur möglich, wenn charakteristische Eigenschaften der Umgebung bestimmt werden können. Die Bestimmung der Eigenschaften geschieht durch Wahrnehmung. Ohne den Sehsinn stehen dem Menschen noch viele andere Sinne zur Verfügung, durch die er seine Umgebung wahrnehmen kann. Johannes Kestel hat sich in seiner Belegarbeit eingehend mit den Sinnen beschäftigt, die von Blinden genutzt werden können, um sich in der Umgebung zu orientieren [Kes12]. Eine Übersicht der involvierten Sinnesorgane bei der Navigation und eine Zuordnung der entsprechenden Wahrnehmungen durch Reize findet sich in Tabelle 2.2.

Das Ohr bietet durch die auditive Wahrnehmung die wohl wichtigste Orientierungshilfe. Es kann zum einen aktiv auditiv für die bereits erwähnte Echoortung verwendet werden, d.h. man erzeugt selbst ein akustisches Schallereignis und interpretiert den Schall, der durch die Primärreflexion verändert wahrgenommen wird. Dadurch kann man einerseits auf die Position von nahen Hindernissen schließen, von denen der Schall früher reflektiert wird als von der Umgebung. Andererseits bekommt man auch einen Hinweis auf deren Größe und Material, da sich dadurch das Spektrum der Reflexion verändert. In Gebäuden kann man mit dieser Technik auch auf Form und Größe des Raumes schließen, in dem man sich befindet. So hört sich eine Halle, deren Wände und Decke den Schall relativ spät reflektieren deutlich anders an, als ein Gang, dessen Wände eine frühere Schallreflexion erzeugen. Auch Wandöffnungen oder Gangabzweigungen lassen sich dadurch gut erhören.

Auf der anderen Seite muss man nicht unbedingt selbst ein Schallereignis auslösen. Man kann auch passiv von auditiven Ereignissen Rückschlüsse auf seine Umgebung ziehen. Lebewesen und Maschinen erzeugen in unserem Alltag viele charakteristische Geräusche, die Rückschlüsse erlauben. Hört man beispielsweise die Schritte einer Person, kann erschlossen werden, dass dort jemand läuft, was wiederum bedeutet, dass dort ein Weg ist, auf dem derjenige läuft. Hört man eine Menge von Stimmen, kann man daraus schließen, dass dort viele Personen sind. Durch weitere Geräusche kann man sich erschließen, warum sie sich dort befinden, beispielsweise weil sie in einem Wartebereich sitzen oder in einem Restaurant. Es gibt auch viele Geräusch von Maschinen und Objekten, die Schlussfolgerungen auf entsprechende Landmarken zulassen, wie das Rattern von Rolltreppen oder das Geräusch eines Händetrockners, das auf eine Toilette hinweist.

Dem Innenohr wird auch der Gleichgewichtssinn zugeordnet. Durch diese vestibuläre Wahrnehmung kann die Erdgravitation wahrgenommen werden. Damit ist es möglich auf die Neigung des Untergrunds zu schließen, auf dem man steht.

Die Nase liefert meist keine so deutlichen Hinweise wie das Gehör. Der Mensch kann von einem Geruch

ORGAN	WAHRNEHMUNG	REIZ	BEISPIELGEGENSTÄNDE
Ohr	vestibulär	Steigung	Rampe
	aktiv auditiv	reflektiertes Geräusch	Wände, Öffnungen / Durchgänge, Gänge, Hallen, Gangmündungen, Gangabzweigungen
	passiv auditiv	Stimme	Menschenmengen (lassen auf Menschenschlangen oder stark frequentierte Wege schließen)
		Ton	Aufzugmusik, Einkaufsradio, Restaurant-Musik
	Geräusch	Rolltreppen, Automaten, laufende TV-Schirme, klackende Anzeigetafeln, automatisch öffnende Türen, ankommende Aufzüge, Menschenströme, Straßenverkehr in Ausgangsnähe, Zug-Ein-/Ausfahrten, Menschenansammlungen in Hallen	
Nase	olfaktorisch	Geruch	Bäcker, Blumenladen, Parfümerie, Seifenladen
Haut - Hände	taktil, haptisch	Größe, Konturen, Oberflächentextur, Härte, Druck, Vibration	Handlauf, Informationstafel in Brailleschrift, taktiler Lageplan
Haut - Füße (Langstock)	taktil	Härte, Textur, Muster, Material, Vibration	Teppich, Fliesen, Linoleum, Fußmatten, Bodengitter, Hindernisse (siehe Gefahren)
Haut - Gesicht	haptisch	Temperatur (kalt, warm)	Ausgang, Bahnsteig, Klimaanlage
	trigeminal	Luftzug	Ventilator, Klimaanlage, Ausgang, Bahnsteig

Tabelle 2.2: Wahrnehmungen der Umwelt durch Sinnesorgane (Quelle: [Kes12])

schlecht auf die Richtung oder Entfernung schließen, dennoch kann die olfaktorische Wahrnehmung Hinweise liefern, wo man sich befindet. Beispielsweise kann eine Bäckerei oder die Fritteuse eines Imbisses beim Vorbeilaufen eindeutig gerochen werden und somit als Orientierungshilfe dienen.

Mit der Haut und den Gliedmaßen ist eine haptische Wahrnehmung möglich. Mit dem Langstock und den Füßen werden Textur, Muster und Material des Bodens sowie dessen Härte und Vibrationseigenschaften gespürt. So kann zusammen mit den Hinweisen der Echoortung auf die Bodenbeschaffenheit geschlossen werden, also ob sich gerade Teppich, Fliesen oder Linoleum unter den Füßen befindet, oder ob man gerade über eine Fußmatte oder ein Bodengitter läuft. Mit den Händen und dem Langstock werden Gegenstände auf die gleichen Eigenschaften untersucht. Außerdem können bei diesen Objekten noch Größe, Kontur und Temperatureigenschaften bestimmt werden. Mit der Gesichtshaut nimmt man besonders gut die Temperatureigenschaften der Luft wahr. Auch dadurch sind Rückschlüsse auf Umgebungsstrukturen möglich, beispielsweise durch den kalten Luftzug, der im Winter durch offene Außentüren weht.

2.6 Struktur der Umgebung

Einen Überblick, welche Objekte in größeren, öffentlichen Gebäuden vorkommen und wie diese wahrgenommen werden können, hat Susanne Haase in ihrer Diplomarbeit [Haa12] gegeben. Ihre Ergebnisse sind in der Graphik 2.1 zusammengefasst und sollen hier Erwähnung finden.

Umgebungsobjekte können nicht nur durch ihre Wahrnehmungscharakteristika eingeteilt werden, sondern durch ihre Funktion, räumliche Ausdehnung und Struktur [Kes12].

Bei der Kategorisierung der Umgebung nach Funktion werden grob Verkehrsflächen und Funktionsflächen unterschieden. Funktionsbereiche sind für die Erledigung unterschiedlichster Aufgaben gedacht. Sie sind auf der einen Seite Zielpunkte der Navigation, auf der anderen Seite können sie auch als Orientierungspunkte dienen, wenn sie gut wahrnehmbar sind. Die Verkehrsflächen werden zum Erreichen der Funktionsflächen genutzt. Sie sind somit besonders wichtig für die Navigation. Typische Verkehrsflächen sind Korridore, Hallen und Etagenverbindungen wie Treppenhäuser und Aufzüge.

Eine andere Möglichkeit zur Kategorisierung der Umgebung ergibt sich aus der räumlichen Dimension. Für die Orientierung kann man die Entitäten „Orientierungspunkte“, „Orientierungskanten“ und „Orientierungsbereiche“ differenzieren.

- Orientierungspunkte sind keine Punkte im eigentlichen Sinn, sondern kleine Bereiche, die gut wahrnehmbar sind und durch die die eigene Position ausreichend genau bestimmt werden kann. Es können aber auch Anfänge von Orientierungsbereichen oder Orientierungskanten auf Punkte reduziert werden, wenn sie deutlich wahrnehmbar und nicht zu groß sind. So sind Türen, Raumöffnungen, Einrichtungsgegenstände oder Verkaufsstände Beispiele für Orientierungspunkte.
- Für die Navigation sind vor allem Orientierungskanten hilfreich. Diese sind Wände, Bodenleitsysteme, Geländer oder ähnliches. Sie sind besonders geeignet eine Route entlang dieser zu planen, da sie unbeabsichtigte Richtungsänderungen verhindern können.
- Orientierungsbereiche sind Orientierungspunkte, die aufgrund ihrer Ausdehnung die aktuelle Position nur grob eingrenzen. Gut wahrnehmbar sind dabei Fußbodenbeläge oder Bodenbereiche. Es ist von Vorteil auch Namen schlecht wahrnehmbarer Bereiche zu kennen, falls man auf die Hilfe anderer angewiesen ist.

2.7 Elektronik Traveling Aids

Für blinde und sehbehinderte Menschen existieren bereits viele kommerzielle elektronische Hilfsmittel, die sie beim Erkunden ihrer Umgebung unterstützen.⁸ Es gibt verschiedene Ansätze, die die Mobilität verbessern können. Die meisten der Hilfsmittel basieren auf den vier unterschiedlichen Ansätzen Object Avoidance, Sensory Substitution, nicht visuelle Karten und Navigationssysteme. Im folgenden Kapitel werden einige Electronic Traveling Aids (ETA) vorgestellt, bei denen die Sonifikation zum Einsatz kommt.

Object Avoidance

Eines der populärsten Hilfsmittel zur Hindernisvermeidung ist der Langstock. Dieser schützt allerdings nicht den Oberkörper und Kopf. Diesen Schutz ergänzen die Systeme **Ultra Cane**⁹ und **K-Sonar**¹⁰. Sie werden auf den Blindenstock gesetzt und detektieren Hindernisse durch Ultraschall. Damit wird der

⁸URL: <http://www.noogenesis.com/eta/current.html> Stand: Januar 2013

⁹URL: <http://www.ultracane.com/> Stand: Januar 2013

¹⁰URL: <http://www.batforblind.co.nz/> Stand: Januar 2013

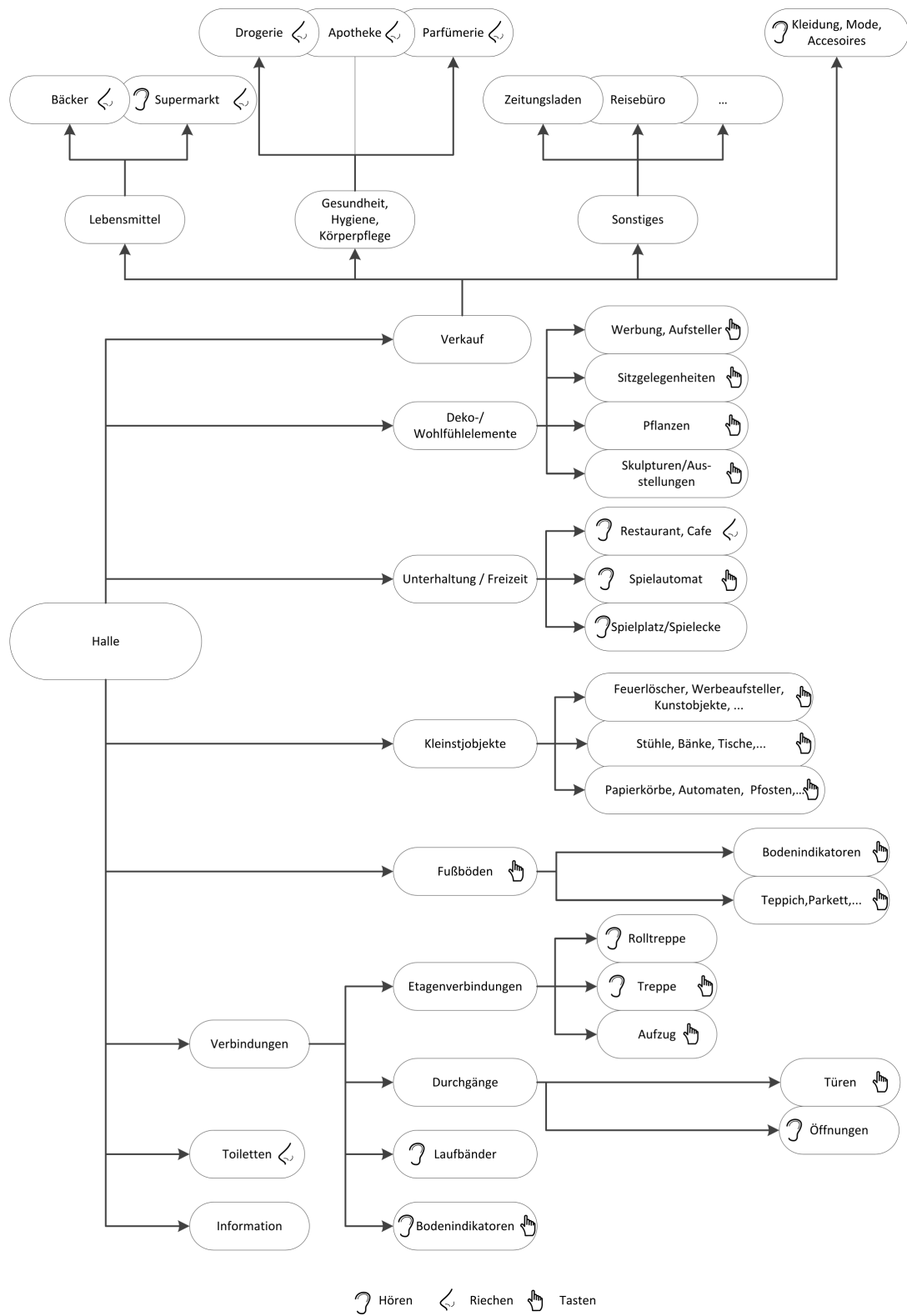


Abbildung 2.1: Wahrnehmung von Objekten in großen Hallen (Quelle: [Haa12])

Langstock so ergänzt, dass auch höhere und weiter entfernte Hindernisse wahrgenommen werden. Falls ein Hindernis in einem gewissen Öffnungswinkel detektiert wird, wird dies dem Benutzer beim K-Sonar akustisch und beim Ultra Cane durch Vibration signalisiert. Der Vorteil dieser Technik ist, dass nur relativ wenig Information übermittelt werden muss und dadurch eine einfache Bedienung möglich ist.

Sensory Substitution



Abbildung 2.2: Blinde Benutzerin bei der Verwendung des Sensory Substitution Systems The vOICe (Quelle: Barbara Schweizer¹¹)

Sensory Substitution bezeichnet das Ersetzen eines Sinnes durch Übertragung der Wahrnehmung auf einen anderen Sinn [rTK03]. Für Blinde wird die visuelle Wahrnehmung von einer Kamera aufgezeichnet, die beispielsweise in einer Brille integriert auf dem Kopf getragen wird. Diese visuelle Information wird für einen anderen Sinn wahrnehmbar gemacht. Der verwendete Ersatzsinn muss viel Information parallel übertragen können, wodurch die Auswahl stark eingeschränkt wird. Es gab bereits Ansätze das Bild durch Vibratoren haptisch auf dem Rücken darzustellen, dieser besitzt allerdings nur wenig Sinneszellen, wodurch nur sehr grobe Darstellungen möglich sind. Eine andere Lösung ist das Bild durch ein Plättchen auf der Zunge darzustellen, die Bildpunkte werden

durch sanfte Stromspannung übermittelt. Die Zunge besitzt besonders viele Nervenenden, wodurch eine relativ hohe Auflösung auf der kleinen Fläche möglich ist.

Eine besonders interessante Lösung nennt sich **The vOICe**.¹² Diese übersetzt das visuelle Bild einer auf dem Kopf getragenen Kamera in ein akustisches Bild. Es handelt sich dabei um eine Parameter-Mapping Sonification, bei der die Eigenschaften der Bildpunkte auf Soundparameter übertragen werden. Das visuelle Bild wird spaltenweise einmal pro Sekunde von links nach rechts gescannt und für jede Spalte ein Geräusch erzeugt. Durch Stereo Sound wird die Spalte akustisch an der jeweiligen Position im akustischen Raum dargestellt - eine Spalte auf der linken Seite ist auf dem linken Ohr zu hören, eine Spalte auf der rechten Seite hört man rechts. Das Geräusch der Spalte setzt sich aus den Frequenzen ihrer einzelnen Bildpunkte zusammen. Die Helligkeit eines Bildpunktes wird durch seine Lautstärke dargestellt, die vertikale Achse bestimmt seine Tonhöhe: Je heller ein Bildpunkt ist, desto lauter ist er. Je weiter oben sich ein Punkt im visuellen Bild befindet, desto höher ist seine Frequenz. Dadurch lassen sich beispielsweise helle Linienverläufe vor einem dunklen Hintergrund recht gut hören. Die Interpretation eines komplexen natürlichen Bildes ist mit einem sehr großen Lernaufwand verbunden. Auch sind durch dieses Mapping Farben nicht wahrnehmbar und Entfernungen lassen sich ebenfalls kaum erkennen. Ein entscheidender Nachteil von The vOICe ist die Überdeckung der Umgebungsgeräusche. Durch die dauerhafte Ausgabe des Signals können keine anderen Geräusche der Umgebung gehört werden und insbesondere lassen sich während der Benutzung von The vOICe keine Gespräche führen.

Blindenkarte

Die Ansätze *Object Avoidance* und *Sensory Substitution* sind für die Mikronavigation geeignet; Die beiden im folgenden vorgestellten Ansätze *Blindenkarte* und *Navigationssystem* unterstützen dagegen bei der Makronavigation. Für die nicht-visuelle Erkundung von Karten existieren verschiedene Konzepte. Neben der haptischen und taktilen Darstellung sind besonders akustische Kartendarstellungen für diese

¹²URL: <http://www.seeingwithsound.com/> Stand: Januar 2013

Arbeit relevant. Wilko Heuten et al. entwickelten die akustische Stadtkarte **Auditory Map** mit Hilfe von natürlichen Umgebungsgeräuschen [HWB06, HHB07, PHHB07]. Bei dieser digitalen Karte wählt der Nutzer durch ein geeignetes Eingabegerät seine Position und erhält daraufhin eine akustische Darstellung seiner Umgebung. Es werden natürliche Geräusche verwendet, beispielsweise steht das Plätschern von Wasser für einen See oder Vogelgezwitscher für einen Park. Damit der Nutzer die Richtung des akustisch dargestellten Bereichs erkennen kann, wird Raumklang verwendet - so erklingen Objekte die sich rechts von der gewählten Stelle befinden als wären sie rechts neben dem Benutzer, Objekte oberhalb, als wären sie vor dem Nutzer und so weiter. Zur Eingrenzung eines hörbaren Radius, damit nicht immer sämtliche Geräusche der Karte erklingen, wurde die Metapher der akustischen Fackel (Auditory Torch) eingeführt. Durch die Auswahl des Nutzers wird die Position der Fackel festgelegt, deren Schein in einem gleichmäßigen Radius die Karte erleuchtet. Je weiter ein Objekt von der Fackel entfernt ist, desto weniger wird es erhellt. Auf die Akustik übertragen werden weiter entfernte Objekte somit leiser dargestellt, als Objekte, die sich nahe an der Fackel befinden.

Zwei andere Erkundungsmodi für auditive Karten wurden in [MB09] vorgestellt. In diesen Modi werden nur einzelne Kreissegmente relativ zu einer Nutzerposition ausgewählt. Der eine Modus lässt beim ersten Klicken auf die Karte eine Art Pie Chart erscheinen, aus dem einer der acht 45° Winkel ausgewählt werden kann. Daraufhin werden alle POIs im Winkelbereich ausgehend vom gewählten Mittelpunkt nacheinander ausgegeben. Beim alternativen Modus geschieht die Auswahl des Winkels durch Streichen über den entsprechenden 40 Pixel breiten Randbereich eines Touch-Displays, wodurch die entsprechende Ausgabe aktiviert wird.

Neben den klassischen Karten gibt es auch Projekte, um Geoinformationssysteme Blinden zugänglich zu machen. **iSonic** ist ein solches Programm zur Auswertung von georeferenzierten Daten mithilfe eines auditiven Displays [ZPSL08]. Es kann mit mehreren Modalitäten bedient werden wie Touchpad, Tastatur, Maus oder Spracheingabe. Die Ausgabe erfolgt auditiv durch Sprache und musikalische Töne. Die Karten können durch verschiedene Interaktionstechniken erkundet werden. Beispielsweise wird eine Karte rekursiv in drei mal drei Felder eingeteilt, die Felder können ausgewählt werden und deren Inhalt durch synthetische Sprache oder musikalische Töne präsentiert werden. Oder man verschafft sich einen Überblick, indem die Karte nach einem bestimmten Raster automatisch durchlaufen wird und dabei die jeweiligen Werte durch virtuellen Raumklang an der entsprechenden Position im akustischen Raum wiedergegeben werden.

Navigationssystem

Die Navigationshilfen, die Benutzer zu einem bestimmten Ziel führen, können in Systeme mit und ohne internem Umgebungsmodell eingeteilt werden. Wird kein solches Modell verwendet, können interessante Punkte beispielsweise durch Beacons markiert und erkennbar gemacht werden. Beacons sind Orts-



Abbildung 2.3: Auditory Map und Auditory Torch (Quelle: [HHB07])

markierungen, die bestimmte Informationen tragen. Sie sind damit eine Art Hinweisschilder, die durch ein Gerät gelesen werden können. Für die Übermittlung der Bedeutung dieser Markierungen können verschiedene Techniken verwendet werden. Zum einen können passive Markierungen zur Datenübertragung genutzt werden, beispielsweise durch das Auslesen von QR-Codes oder Farbmarkern, zum anderen finden aktive Senderstationen Verwendung, die z.B. Bluetooth-, RFID- oder Infrarotsignale senden.

Ein in der Praxis verwendetes System mit Beacons ist **Talking Signs** [GMC98]. Die Signalbarken werden an wichtigen Punkten in der Umgebung angebracht und emittieren mittels Infrarotstrahlen hilfreiche Informationen. Deutet man mit einer Empfangseinheit direkt auf eine Signalbarke, so werden die übermittelten Informationen durch eine synthetische Stimme wiedergegeben. Während die akustische Ausgabe läuft, kann man sich auf das angepeilte Objekt zu bewegen: Die Richtung ist bekannt, weil man die akustische Ausgabe nur hört, solange man auf den Sender zeigt. Der große Nachteil von Talking Signs ist der Installationsaufwand: An jedem Point of Interest muss eine Sendeeinheit montiert werden. Daher ist eine flächendeckende Installation sehr kostenaufwendig. In San Francisco wurden viele dieser Beacons installiert, aber auch in anderen großen Städten von Nordamerika, Japan und Europa wurde das System bereits eingeführt.¹³

Besitzt ein Navigationssystem ein internes Umgebungsmodell, so muss es für die dynamische Führung die aktuelle Position des Nutzers kennen. Die Lage des Geräts bestimmt es durch Referenzpunkte im Raum. Da die Position der Fixpunkte im internen Modell bekannt ist, kann der Nutzer im digitalen Umgebungsmodell verortet werden und Aussagen über die Umgebung relativ zum Benutzer getroffen werden. Das Prinzip dürfte jedem von Fahrzeugnavigationshilfen her bekannt sein, bei denen meist GPS für die Positionsbestimmung genutzt wird. Für blinde Nutzer existieren verschiedene Navigationssysteme, die speziell auf ihre Bedürfnisse zugeschnitten sind.

Im Rahmen des europäischen **MoBIC** Projekts (Mobility of Blind and Elderly People Interacting with Computers) wurde ein Navigationssystem für blinde und sehbehinderte Menschen entwickelt [PJS⁺97]. Das System besteht aus zwei Komponenten: Dem MoBIC Pre-Journey System (MoPS) und dem MoBIC Outdoor System (MoODS). MoPS dient zur Erkundung von Karten und zur Planung von Reisen. Die Landkarten können mithilfe eines taktilen Overlay für ein Touch Display und Sprachausgabe erkundet werden. Für die Navigation vor Ort wurde das MoODS entwickelt, bei dem der Nutzer mit einer kleinen, tragbaren Tastatur Anfragen an das Geo Informations System stellt. Die Fragen nach Richtung, Gefahren und anderen relevanten Informationen werden verbal durch synthetische Sprachausgabe beantwortet.

Das **Drishti** Projekt hat sich des Problems angenommen, sowohl außerhalb als auch innerhalb von Gebäuden navigieren zu können [RHM04]. Außerhalb von Gebäuden wird GPS zur Positionsbestimmung verwendet, innerhalb von Räumen wird die Position des Nutzer durch mehrere, fest montierte Ultraschallsensoren bestimmt, deren Ultraschallsignale durch Reflektoren auf den Schultern des Nutzers reflektiert werden. Die Interaktion mit dem System erfolgt durch kurze Sprachbefehle und Sprachausgabe.

Beim Projekt **AudioGPS** hat man sich die Aufgabe gestellt, ein Navigationssystem für Sehende zu entwickeln, das wenig Aufmerksamkeit erfordert, damit gleichzeitig anspruchsvolle Aufgaben erledigt werden können [HMG02]. Deshalb wird bewusst auf Sprachausgabe verzichtet und stattdessen eine räumliche, nichtsprachliche Audioausgabe verwendet. Für die Repräsentation von Entfernungen wird eine „Geigerzähler Metapher“ verwendet, bei der die Entfernung zum Ziel der Häufigkeit eines Führungssignals (Tempo) entspricht. Für die Richtungsangabe sollte ein virtueller Raumklang verwendet werden, im Prototypen wurde jedoch nur Stereo Panning implementiert und die Unterscheidung, ob sich das Ziel vor oder hinter dem Nutzer befindet, erfolgte durch die Klangfarbe - die hellere Klangfarbe des Cembalos für vorne und das dumpfe Dröhnen einer Posaune für hinten. Mit dieser Variante von virtuellem Raumklang ließen sich mindestens acht verschiedene Richtungen gut erkennen. Es wurde auch eine alternative Audioausgabe vorgeschlagen. Dabei wird die Angabe der Entfernung durch die Anzahl der hintereinander folgenden Signale dargestellt, beispielsweise könnte eine Entfernung von 50 m einem fünfmal

¹³URL: <http://talkingsigns.com/> Stand: Januar 2013

hintereinander gespielten Signal entsprechen. Welcher Entfernung ein Signal genau entspricht wurde allerdings offen gelassen. Für die Richtungsangabe wurde eine Anzeige durch unterschiedliche Tonhöhe vorgeschlagen. Die Tonhöhen werden innerhalb einer Oktave in Halbtonschritten verändert und stellen maximal einen 90° Winkel dar. Die genaue Ausgestaltung der Richtungsangabe wurde offen gelassen und auf die Notwendigkeit weiterer Untersuchungen verwiesen.

Die Problemstellung „Fußgängernavigationssystem“ wurde auch vom Projekt **ONTRACK** aufgegriffen und mit der Gewohnheit vieler Fußgänger kombiniert, unterwegs Musik zu hören [JJB⁺08]. So entwickelte man eine Anwendung, die beliebige Musikstücke abspielt und in die Ausgabe das Führungssignal integriert: Entfernung wird durch die Lautstärke der Musik und Richtung durch Stereo Panning dargestellt.

2.8 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurde die Unterschiedlichkeit verschiedener Arten von Sehbehinderungen und Erblindung besprochen und Techniken vorgestellt, wie man sich mit Hilfe seiner anderen Sinne in der Umgebung zurechtfinden kann. Es wurden Strukturen der Umgebung angesprochen, die für die Orientierung nützlich sind. Abschließend wurden elektronische Hilfsmittel vorgestellt, die für eine Verbesserung der Mobilität entwickelt wurden.

3 Sonifikation

Die nicht-verbale, akustische Informationsübertragung ist ein Thema, das viele Fachgebiete überspannt. Dieses Kapitel beleuchtet die Sonifikation aus verschiedenen Perspektiven und sammelt aus diesen Blickwinkeln unterschiedliche Möglichkeiten der Informationsdarstellung. Dafür wird zunächst der wissenschaftliche Begriff „Sonifikation“ definiert. Danach werden relevante Aspekte der Wahrnehmungspsychologie besprochen und übliche Techniken zur Sonifikation in auditiven Computer-Displays vorgestellt und kategorisiert. Aus der Perspektive der Signaltheorie werden die Eigenschaften von digitalen Audiosignalen betrachtet. Zur elektronischen Erzeugung von akustischen Signalen werden Techniken zur Klangsynthese besprochen. Abschließend wird ein Gestaltungsraum vorgestellt, der für die Sonifikation von Informationen zur Verfügung steht.

3.1 Definition

Eine anerkannte Definition von Sonifikation wurde von der International Community for Auditory Displays (ICAD) definiert und in ihrem Bericht für die National Science Foundation veröffentlicht:

„Sonification is the transformation of data relations into perceived relations in an acoustic signal for the purposes of facilitating communication or interpretation.“ [KWB⁺10]

Diese Definition betont die Übertragung von Daten in ein akustisches Signal als Hilfsmittel zur Informationsgewinnung. Es wird damit Sonifikation von sprachlicher Kommunikation abgegrenzt, sowie von künstlerischer Nutzung der Sonifikation. Allerdings erscheinen interaktive Formen der Sonifikation wie der Model-Based Sonifikation von dieser Definition ausgeklammert zu sein. Daher wird im Folgenden eine erweiterte Definition von Thomas Hermann verwendet:

„Any technique that uses data as input, and generates (eventually only in response to additional excitation or triggering) sound signals may be called sonification, if and only if

- (C₁) the sound reflects properties / relations in the input data.
- (C₂) the transformation is completely systematic. This means that there is a precise definition of how interactions and data cause the sound to change.
- (C₃) the sonification is reproducible: given the same data and identical interactions/triggers the resulting sound has to be structurally identical.
- (C₄) the system can intentionally be used with different data, and also be used in repetition with the same data.“ [Her08]

Kürzer gesagt nennt man Sonifikation eine datenabhängige Generierung von Klängen, wenn die Transformation systematisch, objektiv und reproduzierbar ist, und damit als wissenschaftliche Methode verwendet werden kann.¹ Sonifikation kann somit als akustische Analogie zur Visualisierung gesehen werden. Es ist möglich, sie wissenschaftlich zu nutzen, aber nicht nötig. Außerdem sind interaktive Techniken eingeschlossen.

Die Sonifikation ist ein interdisziplinäres Forschungsgebiet. Besonders Konzepte der Akustik, der Wahrnehmungspsychologie und der Informatik spielen eine wichtige Rolle. Aufgrund des Umfangs der verschiedenen Bereiche der Sonifikation kann diese Arbeit keinen vollständigen Überblick über das Gebiet

¹<http://www.sonification.de/son/definition> (Stand:14.11.2012)

der Sonifikation bieten, es wird nur eine Auswahl von relevanten Aspekten angesprochen. Für einen vollständigeren Überblick über Sonifikation sei auf The Sonification Handbook von Hermann et al. [HHN11] verwiesen.

3.2 Wahrnehmung und Psychologie

Grundlegend für die Sonifikation ist die akustische Wahrnehmung des Menschen. Im folgenden Abschnitt werden deshalb für diese Arbeit relevante Ergebnisse dieser Forschungsrichtung zusammengefasst. Die physikalische Grundlage für die auditive Wahrnehmung sind Schallwellen, die eine Quelle besitzen und vom Ohr wahrgenommen werden. Schallwellen sind Veränderungen des Luftdrucks, die sich wellenförmig ausbreiten und vom Menschen wahrgenommen werden können [Gol08, S. 259]. Zur wissenschaftlichen Untersuchung werden häufig reine Töne verwendet, deren Welle durch die mathematische Sinusfunktion beschrieben wird.

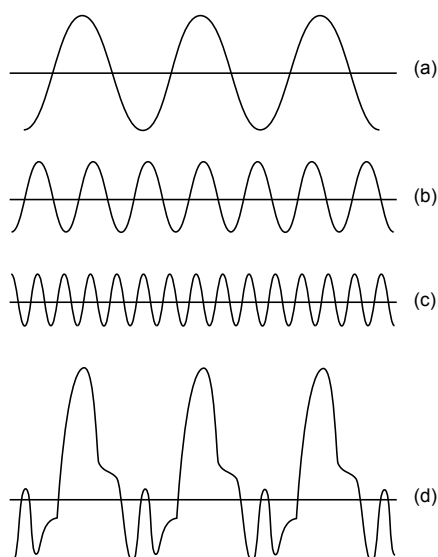


Abbildung 3.1: Additive Klangerzeugung nach [Gol08]

Im Alltag hört man so gut wie keine reinen Töne, meist hört man Geräusche. Geräusch wird in dieser Arbeit als Oberbegriff für alle Arten von Schallwellen verwendet. In der Literatur bezeichnen Geräusche manchmal auch nur aperiodische Schallwellen, um diese von periodischen Schallwellen abzugrenzen oder nicht absichtlich erzeugten Schallwellen abzugrenzen. Periodische Schallwellen sind reine oder komplexe Töne. Komplexe Töne sind periodische Schwingungen, die durch Kombinationen von Sinusschwingungen (Fouriersynthese) nachgebildet werden können. In Abbildung 3.1 wird die Kombination eines komplexen Tones (d) aus 3 reinen Sinuswellen (a-c) dargestellt. Eine Sonderform eines aperiodischen Geräuschs ist ein Knall. Dieses Geräusch zeichnet sich durch eine stark gedämpfte Schwingung und hohe Amplitude aus.

Periodische Geräusche, das heißt reine und komplexe Töne, besitzen als wichtigste Eigenschaften eine Amplitude und eine Frequenz. Die Amplitude entspricht der Größe der relativen Luftdruckänderung und bestimmt maßgeblich die **Lautstärke** („loudness“). Sie wird über die Formel $dB - Wert = 20 \cdot \log_{10}\left(\frac{p}{p_0}\right)$ mit dem Schalldruck eines Stimulus p und dem standardisierten Bezugsschalldruck $p_0 = 20$ Mikropascal bestimmt. Durch die logarithmische Berechnung des Schalldrucks aus der Amplitude, fließt direkt die psychologische Wahrnehmung der Lautstärke in dieses physikalische Maß ein. Wird ein reiner Ton mit 10-fach größerer Amplitude erzeugt, nimmt ein Mensch dies nur als etwa doppelte Lautstärke wahr. [Gol08, S. 260f]

Die Frequenz wird in Hertz gemessen und gibt die Schwingungen pro Sekunde an. Die Frequenz wird vom Menschen als **Tonhöhe** („pitch“) wahrgenommen. Die Tonhöhe und die Lautstärke können psychologisch nicht getrennt betrachtet werden, da bei der Wahrnehmung beide Eigenschaften voneinander abhängig sind. Wie in Abbildung 3.2 zu erkennen ist, nimmt man besonders hohe und tiefe Töne leiser wahr als Töne zwischen 2.000 Hz und 5.000 Hz. Experimentell kann eine Kurve gleicher Lautheit bestimmt werden. Dabei wird festgestellt, welche Frequenz-Schalldruck-Paare den gleichen subjektiven Eindruck von Lautstärke ergeben. Eine solche Kurve gleicher Lautheit wird Isophon genannt. [Gol08]

Musik und Harmonie

Komplexe Töne besitzen neben diesen beiden wichtigen Eigenschaften noch die **Klangfarbe** („timbre“). Durch die Klangfarbe kann der Mensch beispielsweise verschiedene Musikinstrumente unterscheiden. Die erzeugten Töne von klassischen Musikinstrumenten sind komplex. Sie setzen sich aus den Partialfrequenzen Grundton und Obertöne zusammen. Durch die Frequenz des Grundtones wird die Tonhöhe bestimmt. Die Obertöne sind Vielfache der Grundfrequenz und werden so auch Harmonische genannt, da sie zusammen harmonisch klingen. Die unterschiedlichen Intensitätsverhältnisse der Partialtöne sind charakteristisch für ein Musikinstrument. Das heißt theoretisch kann man Instrumente durch die relativen Amplituden ihrer Partialtöne unterscheiden. Bei sehr ähnlichen Instrumenten reicht dieses Unterscheidungsmerkmal für das menschliche Gehör allerdings nicht immer aus und so nutzt man noch weitere Hinweise zur Bestimmung der Klangfarbe. Ein anderes wichtiges Erkennungsmerkmal ist die Dynamik eines Tons. Musikinstrumente liefern nicht wie Synthesizer sofort einen konstanten Ton, sondern besitzen zu dieser stationären Phase auch eine Ein- und eine Ausschwingphase, in der sich die Amplituden der Partialtöne unterschiedlich verhalten. Ohne die etwa eine halbe Sekunde andauernde Einschwingphase eines Tons können viele Musikinstrumente von ungeübten Hörern nicht mehr unterschieden werden. [Gol08]

Musikalische Töne sind Geräusche, denen eine Tonhöhe, Lautstärke und Klangfarbe eindeutig zugeordnet werden kann. Die verwendeten Tonhöhen in der Musik orientieren sich an der menschlichen Perception und werden daher mit den Noten c, d, e, f, g, a, h klassifiziert. Noten mit dem gleichen Namen klingen ähnlich, sie besitzen die gleiche **Tonigkeiten** („tone chroma“). Diese Ähnlichkeit beruht darauf, dass das Intervall zwischen zwei Tönen mit dem gleichen Namen immer eine Oktave ist, das heißt, dass ein Ton immer die doppelte Frequenz besitzt wie sein Vorgängerton mit dem gleichen Namen. [Gol08]

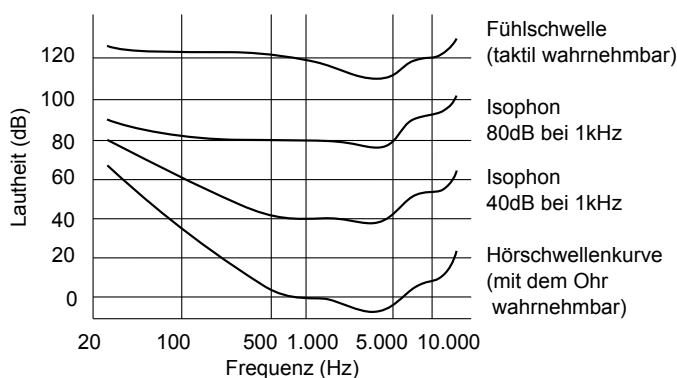


Abbildung 3.2: Hörschwelle, Fühlschwelle und Isophone nach [Gol08]

Theoretisch können die Töne von Musikinstrumenten synthetisch erzeugt werden, denn mathematisch ist durch das Fourier-Theorem bewiesen, dass durch Summe oder Überlagerung von harmonischen Schwingungen jede beliebige periodische Bewegung dargestellt werden kann [Roe00]. Bei der Überlagerung von reinen Tönen ergeben sich aus der additiven Klangsynthese unter anderem zwei interessante Effekte, die destruktive Interferenz und die Schwebung. Die destruktive Interferenz ist der Effekt, dass bei zwei gleichen Sinusschwingungen mit um 180 Grad verschobener Phase der Kurvenverlauf genau gegenläufig ist. Daher gleichen sich die Luftdruckunterschiede genau aus und so kann keiner von beiden Tönen mehr wahrgenommen werden. Eine Schwebung entsteht, wenn sich zwei Sinusschwingungen mit leicht unterschiedlicher Frequenz überlagern. Das menschliche Ohr ist nur bis zu einer gewissen Frequenzdifferenz fähig, die Schallwellen

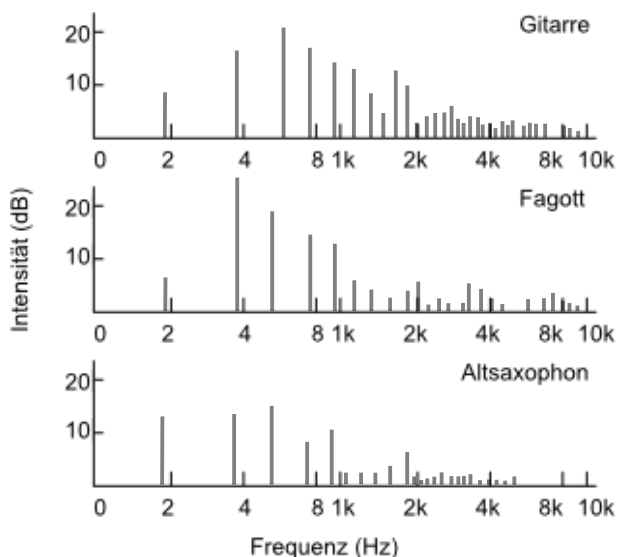


Abbildung 3.3: Frequenzspektren einer Gitarre, eines Fagotts und eines Altsaxophons beim Spielen der Note g (196 Hz) nach [Gol08]

auseinander zu halten und erkennt bei einer zu geringen Differenz nicht mehr zwei unterschiedliche Töne mit konstanter Lautstärke, sondern nur noch einen einzigen Ton mit schwankender Lautstärke. Im Übergangsbereich zwischen diesen beiden Wahrnehmungen wird das Zusammenspiel der Töne als „rau“ empfunden. Daraus erklärt sich auch, dass Notenintervalle unterschiedlicher Noten, die kleiner sind als circa eine Drittel Oktave, als Dissonanzen empfunden werden, größere Intervalle als Konsonanzen. Dissonanzen werden meist als unangenehm empfunden, sie haben einen aufreizenden Charakter. Beim Zusammenspiel von komplexen Tönen von Musikinstrumenten kann Dissonanz nicht so einfach wissenschaftlich beschrieben werden, da andere Faktoren wie Tonigkeit und die Überlagerung der Partialtöne der jeweiligen Instrumente berücksichtigt werden müssen.

Für die Erzeugung von Musik sind natürlich nicht nur einzelne Töne und deren Überlagerung interessant, sondern auch deren Kombinationsmöglichkeiten zu Musikstücken. Musikerzeugnisse der westlichen Welt basieren meist auf gewissen Grundprinzipien wie Tonalität, Melodien und Rythmus. Tonalität bedeutet, dass Tonleitern verwendet werden. Tonleitern basieren auf einem Grundton und dessen harmonischen Obertönen, wodurch damit komponierte Musikstücke einen harmonischen Gesamtklang erhalten und Dissonanzen vermieden werden. Des Weiteren werden häufig Melodien verwendet, das sind kurze, gut wiedererkennbare Tonfolgen, die in Variationen mehrfach wiederholt werden. Der Rythmus ist die zeitliche Strukturierung von Tondauer und Pausen. Er basiert auf Grundsclägen, die in gleichmäßige Takte zusammengefasst werden. In einem Takt können durch den Rythmus einzelne Grundscläge durch Tondauer und Pausen betont werden. [Roe00]

Auditive Szenerieanalyse

Cocktailparty-Effekt bezeichnet die beeindruckende Leistung des Gehirns verschiedene sich überlagernde Geräusche aufspalten zu können und sie ihren Schallquellen zuordnen zu können. Der Name leitet sich aus der Fähigkeit ab, eine bekannte Stimme aus einem Stimmengewirr, wie es bei einer Cocktailparty auftritt, herausfiltern zu können. Dieser Effekt wird durch die Gestaltpsychologie so erklärt, dass das Gehirn empfangene Reize automatisch gruppiert und bestimmten Ursachen zuordnet. Gruppierungsmerkmale sind beispielsweise die Lokalisation, die Ähnlichkeit der Klangfarbe und Tonhöhe, die zeitliche Nähe, ein guter Verlauf und erlernte Gruppierungen. Ähnlich wie bei optischen Täuschungen können diese Gruppierungen ebenfalls durch auditive Illusionen experimentell nachgewiesen werden

[Gol08, S. 301ff]. Wenn Frequenzanteile zweier unterschiedlicher Geräusche nahe beieinander liegen, ist es dem menschlichen Gehör unter bestimmten Voraussetzungen nicht möglich, die Frequenzen korrekt aufzulösen. Es kommt zum **Maskierungseffekt**, das heißt, dass die sich überdeckenden Frequenzanteile nicht oder nur mit geringerer Intensität wahrgenommen werden. Dieser Effekt lässt sich durch Békésys Ortstheorie des Hörens erklären, nach der akustische Frequenzen die Nervenzellen jeweils in gewissen Bereichen des Innenohrs anregen. Die Größe der Bereiche sind abhängig von der Intensität der Schallwelle. Überschneiden sich diese Bereiche, können die entsprechenden Frequenzen nicht mehr aufgelöst werden. Dieser Effekt wird auch bei der Audiocodierung genutzt, um nicht hörbare Audioinformationen einzusparen.

Auditive Lokalisation

Ein weiterer relevanter Forschungsbereich der Wahrnehmungspsychologie beschäftigt sich mit der Lokalisation von Schallquellen. Dabei wurden drei wichtige Reize festgestellt, durch die auf die Position einer Schallquelle geschlossen werden kann. Die zwei binauralen Positionsreize sind ein Hinweis auf die horizontale Position der Quelle. Diese Reize sind die interaurale Zeitdifferenz sowie die interaurale Pegeldifferenz, das heißt, der zeitliche Unterschied, wann ein Signal an einem jeweiligen Ohr wahrgenommen wird und der Lautstärkeunterschied zwischen Wahrnehmungen der beiden Ohren. Da der für die Pegeldifferenz notwendige Schallschatten nur bei kürzeren Wellenlängen ungefähr oberhalb von 1.000 Hz auftritt, wird dieser Hinweis hauptsächlich für die Positionsbestimmung von Geräuschen mit höheren Frequenzen verwendet und umgekehrt. Der entscheidende Hinweis für die vertikale Position der Schallquelle ist die Veränderung des Frequenzspektrums durch Kopf und Außenohr. Dies ist ein monoauraler Positionsreiz, der bei virtuellen Schallquellen nur schwer nachahmbar ist, denn die Frequenzänderungen sind für jede Person unterschiedlich. Eine Möglichkeit zur Imitation ist eine kopfbezogene Übertragungsfunktion (Head-related transfer function, HRTF) zu bestimmen. Diese wird durch Messen der Veränderung von Schallwellen im Ohr aufgestellt mithilfe von kleinen Mikrofonen, die in die Ohren einer Versuchsperson gesetzt werden. [Gol08, S. 291ff]

Durch die Nutzung der auditiven Lokalisation können virtuelle, auditive Umgebungen geschaffen werden. Diese Technik wird beispielsweise für das Training der Navigationsfähigkeiten blinder und sehbehinderter Kinder eingesetzt [LS99, SSR09]. Durch Spiele in der auditiven, virtuellen Umgebungen werden sie bei der Entwicklung ihrer kognitiven Fähigkeiten und Problemlösungsstrategien unterstützt.

Mit der stationären Lokalisation von Schallquellen kann auch deren Bewegung im Raum wahrgenommen werden. Dies geschieht durch den sogenannten **Doppler-Effekt**. Wenn sich eine Schallquelle auf eine Person zubewegt, so werden deren Schallwellen zeitlich gestaucht. Die Laufzeit wird geringer und für den Hörer erhöht sich die wahrgenommene Frequenz des Signals. Wenn sich die Schallquelle vom Hörer entfernt, wird die Schallwelle entsprechend gedehnt und die Frequenz wird niedriger. Ein beliebtes Beispiel für diesen Effekt ist ein Rettungswagen, der mit eingeschaltetem Martinshorn an einem vorbei fährt: Während sich das Fahrzeug nähert, wird die Sirene als höher wahrgenommen, wenn sich der Wagen entfernt als tiefer.

3.3 Techniken zur Sonifikation

Mit der Zeit haben sich eine Vielzahl von Techniken für die Sonifikation entwickelt. Welche Technik verwendet wird, hängt natürlich im besonderen Maße vom Zweck der Anwendung ab. Grundsätzlich kann man nach [WN11] die Nutzung von Sonifikationen in folgende Übergruppen einteilen:

Alarm, Alarmsignal und Warnung: Besitzen wenig Informationsgehalt. Es ist eine schnelle Reaktion zu erwarten.

Status- und Fortschrittsanzeige zur Kontrolle Minimale Veränderungen sind akustisch gut wahrnehmbar. Es wird eine geringe Aufmerksamkeit benötigt.

Datenexploration: Geeignet für einen Gesamtüberblick über Daten. Anomalien können relativ leicht erkannt werden.

Unterhaltung, Sport und Freizeit: Vor allem für Blinde und Sehbehinderte ermöglicht Sonifikation eine Teilnahme an virtuellen Spielen und sportlichen Aktivitäten.

Kunst: Informationen der Umwelt können der Kunst wegen auf Geräusche abgebildet werden. Die Abgrenzung zur Musik ist umstritten.

In den folgenden Unterabschnitten werden einige allgemein anerkannte Sonifikationstechniken vorgestellt und im Anschluss werden weitere Möglichkeiten der Kategorisierung aufgezeigt.

Audification

„Audification is a technique of making sense of data by interpreting any kind of one-dimensional signal (or of a two-dimensional signal-like data set) as amplitude over time and playing it back on a loudspeaker for the purpose of listening.“ [DE11]

Audification ist die wohl ursprünglichste Form von Sonifikation. Daten, die auf eine beliebige Art erhoben wurden, transformiert man zu einem Signal auf akustischem Niveau und gibt es mit einem Lautsprecher wieder. Eines der bekanntesten Beispiele für Audification ist wohl der Artikel „Seismometer Sounds“ von S. Speeth aus dem Jahr 1961. Speeth audifizierte Aufzeichnungen seismischer Bewegungen [ICAD02, Spe61]. Durch diese Technik ist es Hörern leicht möglich natürliche Erdbeben von atomaren Explosionen unterscheiden zu können.

Audifizierung ist eine Technik, die gut geeignet ist, um einen Überblick über große Datenmengen zu erhalten. Die Daten werden vor der Wiedergabe durch einen Lautsprecher nur in Frequenz und Amplitude dem menschlichen Gehör angepasst. So können vor allem Unterschiede im zeitlichen Verlauf gut analysiert werden.

Auditory Icons

Die Entwicklung von Auditory Icons basierte auf der Annahme, dass jedes Geräusch, das man in der Umgebung hört, eine Ursache besitzt. Geräusche liefern häufig Informationen darüber was und wo etwas geschieht. Diese Erkenntnis wird für Auditory Icons benutzt, um auf eine möglichst natürliche Art und Weise auf Ereignisse in einer virtuellen Arbeitsumgebung aufmerksam zu machen. Dabei werden natürliche Geräusche nachempfunden und karikiert. Genauso wie visuelle Icons nur charakteristische, grafische Eigenschaften darstellen, brauchen auditorische Icons nur die wichtigsten auditiven Eigenschaften der Klänge wiedergeben, die sie repräsentieren. Beispielsweise kann der Posteingang als virtuelle Repräsentation eines realen Briefkastens verwendet werden. Trifft eine Email ein, wird dies durch das Geräusch eines Briefes dargestellt, der in einen metallischen Briefkasten fällt. Mit diesem Geräusch können zusätzliche Informationen übertragen werden, beispielsweise wie voll der Briefkasten ist, wie viele Briefe gleichzeitig hinein fallen oder wo sich die entsprechende Anwendung auf dem Desktop befindet. [Gav86]

Mithilfe von Auditory Icons können relativ gut nominale Informationen dargestellt werden. Durch die Verwendung alltäglicher Geräusche sind Auditory Icons leicht zu erlernen und ohne langes Training identifizierbar [GBO08]. Andererseits ist die Erstellung guter Icons nicht leicht, es müssen intuitive Metaphern gefunden werden. Diese sollten möglichst gut realen Geräuschen entsprechen. Zur Findung solcher Entsprechungen müssen viele Geräusche analysiert und charakterisiert werden. Im schlechtesten Fall gibt es für abstrakte Informationen keine geeignete Metapher. In diesem Fall muss man eventuell

auf die Darstellung durch Earcons zurückgreifen.

Earcons

Für die Erstellung von Earcons werden keine realen Klänge verwendet, sondern musikalische Töne der Harmonischen Tonleiter, um Umgebungsinformationen auf kurze Tonfolgen mit 1-4 Tönen abzubilden – sogenannten „Motive“. Ein Motiv hat einen festen Rhythmus und feste Tonigkeiten; Klangfarbe, verwendete Oktave („register“) und Dynamik (einheitliche, gleitende oder abrupte Veränderung der Lautstärke) dagegen können verwendet werden, um weitere Informationen über das Objekt zu vermitteln. Motive basieren auf der harmonischen Tonleiter, auf der ebenfalls die meiste westliche Musik basiert. Diese Vertrautheit und Gewohnheit führt für den Hörer zu einer besseren Erlern- und Merkbarkeit. [BSG89]

Verschiedene Motive können miteinander kombiniert, vererbt oder transformiert werden, um damit neue Bedeutungen zu erhalten. Es ist möglich durch Vererbung oder Transformation Hierarchien von Motiven zu erstellen, die Familien genannt werden. Diese Strukturierung der Earcons erleichtert das Erlernen und Wiedererkennen [BSG89]. Ein Beispiel: Es wurden Motive definiert für die Begriffe *Datei*, *String*, *Löschen* und *Erstellen*. Damit lassen sich die kombinierten Motive *Datei-Erstellen*, *Datei-Löschen*, *String-Erstellen* oder *String-Löschen* durch Kombination ableiten. Die Motive *Erstellen* und *Löschen* könnten auch ein gemeinsames Elternmotiv *Bearbeiten* besitzen, von dem sie ihre Eigenschaften erben und Transformationen oder Erweiterungen dieses Motivs sind. Insgesamt lassen sich somit aus einigen einfachen Motiven eine ganze Sammlung komplexerer Motive systematisch und intuitiv generieren. Für die genaue Ausgestaltung von Earcons wurde mit weiteren Gestaltungsrichtlinien experimentiert, die für den Entwurf einer nutzerfreundlichen Benutzungsschnittstelle hilfreich sein können. [BWE95, MB04]

Insgesamt sind Earcons gut für hierarchische Strukturen geeignet. Die Navigation beispielsweise in Menüstrukturen kann damit erleichtert werden, da durch die Motivfamilien hierarchische Ebeneninformationen mitübertragen werden können. Für unstrukturierte Informationen sind Earcons dagegen nur mit großem Lernaufwand verwendbar.

Spearcons

Eine andere effektive Technik zur intuitiven Assoziation von Geräuschen zu ihrer Bedeutung sind Spearcons. Dafür werden Wörter oder kurze Sätze so schnell abgespielt, dass sie nicht mehr als Sprache wahrgenommen werden, es entsteht ein kurzes Geräusch mit einer charakteristischen Klangfarbe. Dieses Geräusch kann durch seine Ähnlichkeit zum Ausgangswort relativ leicht erlernt werden. [WNL06]

Einerseits sind Spearcons von der Sprache des Verwenders abhängig, wodurch für unterschiedliche Benutzergruppen unterschiedliche Sets von Spearcons nötig sind. Andererseits können Spearcons durch Sprachsynthese ad hoc generiert werden, wodurch nur geringer zusätzlicher Aufwand für die Sprachanpassung entsteht. Spearcons sind zwar weniger intuitiv und kunstvoll als Auditory Icons, bieten dafür bessere Erlernbarkeit als Earcons und können ohne großen Designaufwand erstellt werden.

Parameter-Mapping Sonification

Bei der Parameter-Mapping Sonification werden Datenfeatures auf Parameter eines Klangsynthesesytems übertragen. Ein einfaches Beispiel ist eine Einparkhilfe in einem Auto: Ein Sensor misst die Entfernung und abhängig von den gemessenen Daten werden verschiedene akustische Signale erzeugt. Damit ähnelt diese Technik der Audification. Sie bietet allerdings einen größeren Raum an Gestaltungsmöglichkeiten. Es ist nicht nur möglich, sensorische Messungen sondern auch abstrakte Daten klanglich darzustellen. Beispielsweise entwickelten Mansur et al. 1985 ein Audifikationskonzept namens „Sound

Graphs“. Dabei werden ganz allgemeine, zweidimensionale Graphen akustisch so dargestellt, dass blinde Menschen diese Graphen analysieren und interpretieren können. [MBJ85]

Ein anderes Beispiel mit großen Mengen künstlicher Daten ist das Projekt Marketbuzz von Janata und Childs [JC04]. Es handelt sich dabei um ein auditives Display für die Überwachung von Finanzdaten in Echtzeit. Dabei wird jeder Datenstrom durch ein eigenes Musikinstrument dargestellt. Kursveränderungen werden durch Intervalle zwischen musikalischen Tönen dargestellt. Welche Art von Information angezeigt wird, wird durch weitere musikalische Eigenschaften differenziert wie durch Stakkato und Tremolo oder durch den Rythmus. Experimentell wurde festgestellt, dass durch eine solche zusätzliche Sonifizierung deutlich weniger Fehler bei der Überwachung von Datenströmen gemacht wurden, als bei einer rein visuellen Anzeige. Dieser Effekt verstärkte sich noch, wenn die Probanden durch zusätzliche Aufgaben abgelenkt wurden.

Bei dieser Sonifikationstechnik wird eindeutig beschrieben, welcher Datenzustand welches akustisches Ereignis hervorruft. Für jeden Datensatz werden ein oder mehrere Töne von einem Synthesizer generiert und beispielsweise in Zeit, Dauer, Lautstärke, Tonhöhe, Hüllkurve, Helligkeit, usw. moduliert. Damit hat sie große Ähnlichkeit mit der wissenschaftlichen Visualisierung - teilweise wird die Technik als akustisches Streudiagramm bezeichnet [HR99]. Durch die direkte Übersetzung von Datenparametern in die akustische Dimension ist Parameter-Mapping Sonification gut für die Überwachung von Sensordaten in Echtzeit geeignet. Sie eignet sich auch insbesondere für die vieldimensionale Darstellung komplexer Daten. Die große Gestaltungsfreiheit benötigt einerseits einen hohen Designaufwand für die Implementierung, andererseits wird ein besonderes Maß an Gestaltungspotential geboten.

Model-Based Sonification

Mithilfe der modellbasierten Sonifikation können komplexe Daten in Musikinstrumente oder Klangkörper verwandelt werden [HR99, HR05, Her11]. Aus den Daten wird ein virtuelles Objekt erstellt, dessen akustische Eigenschaften durch Physical Modeling Synthese simuliert werden. Der Nutzer kann durch verschiedene Interaktionen wie beispielsweise Klopfen oder Schütteln das Modell anregen und damit die Daten erkunden. Die Idee ist, dass man durch Erfahrungen aus der realen Welt von den Klängen intuitiv auf die Eigenschaften des virtuellen Objekts schließt und damit auf die dargestellten Parameter. Die Interaktion liegt damit ganz beim Nutzer, nur durch sein aktives Handeln entstehen Geräusche. Da gewöhnliche Eingabegeräte häufig nur binäre Eingabesignale erzeugen, bietet sich für diese Art der Sonifikation ein Tangible User Interface an, mit dem das virtuelle Modell mit unterschiedlich starken Impulsen angeregt werden kann. Neben der impulsartigen Anregung des Modells sind damit auch kontinuierliche Interaktionen möglich, beispielsweise kann das Überstreichen eines berührungsempfindlichen Displays als Kratzen auf einer „Datenoberfläche“ simuliert werden. Für die Erstellung einer intuitiven Model-Based Sonification wird eine Metapher benötigt, die angibt mit welchem realen Objekt das virtuelle Objekt gleichgesetzt wird. Dieses Mapping muss natürlich zur gewünschten Analyse passen. Beispielsweise kann die Zusammensetzung von Datensätzen einer Datenbank durch eine Rassel dargestellt werden, deren Füllung durch die Daten parametrisiert wird. Mit mehreren dieser Rasseln lässt sich die Zusammensetzung und Ähnlichkeit unterschiedlicher Datenbanken analysieren.

Insgesamt ist die Implementierung dieser Methode zur Datenexploration relativ komplex, da die Geräuscherzeugung auf der physikalischen Modellierung und Simulation von virtuellen Objekten basiert. Sie eignet sich insbesondere für komplexe und zeitunabhängige Daten. Wurde eine gute Metapher für das virtuelle Instrument gewählt, besticht diese Technik durch Intuitivität der Hörerfahrung.

3.4 Unterscheidungsmerkmale von Sonifikationen

Die vorgestellten Sonifikationstechniken können unterschiedlich charakterisiert werden. Zwei aufschlussreiche Unterscheidungsmöglichkeiten sind die Interaktionstechnik und das Mapping.

Interaktionstechnik

Die unterschiedlichen Sonifikationstechniken basieren auf drei verschiedenen Modellen der Interaktion: Modellbasiert, zeitabhängig (kontinuierlich) und ereignisbasiert [WN11]. Die drei Ansätze erfordern unterschiedlich viel Nutzeraktivität.

Am meisten Aktivität erfordert die **modellbasierte Interaktion**, wie sie bei der Model-Based Sonifikation verwendet wird. Dabei ist ein aktives Erkunden durch den Nutzer nötig. Die Ausgabe ist stark von der Eingabe abhängig, ohne aktive Anregung des Modells wird kein Geräusch erzeugt.

Zeitabhängige Interaktion benötigt am wenigsten Nutzeraktivität. Audification und Parameter Mapping Sonifikation sind typische Vertreter dieser Technik. Die Sonifikation läuft kontinuierlich ab und kann vom Nutzer nur wie bei einem Abspielgerät mit den typischen Funktionen „Start“, „Stopp“, „Vor- oder Zurückspulen“ usw. beeinflusst werden.

Ereignisbasierte Interaktion ist abhängig von Eingaben und (Zeit-)Ereignissen. Auditory Icons, Earcons und Spearcons werden meist ereignis-basiert als Alarmsignal, als Rückmeldung auf eine Aktion oder als regelmäßige Fortschrittsanzeige verwendet.

Mapping

Das Mapping bezeichnet bei der Sonifikation den Zusammenhang zwischen Daten und Klang. Die Klänge können folglich als Darstellung der Daten durch akustische Zeichen verstanden werden und das Mapping als die Semantik der Zeichen. Das Mapping ist von besonderer Bedeutung bei der Sonifikation, da der Anwender durch ein intuitives und logisches Mapping akustische Zeichen einfach und ohne großen Lernaufwand interpretieren kann.

Die Semantik eines Zeichens charakterisiert nicht einfach die Bedeutung des Zeichens, sondern vielmehr das Verhältnis zwischen Zeichen und bezeichneten Objekt. In der Semiotik werden nach Oswald [Osw12] drei Typen von Beziehungen zwischen Objekt und Zeichen unterschieden:

1. Kausaler Zusammenhang (Indexalisches Zeichen)
2. Zusammenhang durch Ähnlichkeit (Ikonisches Zeichen)
3. Zusammenhang durch soziale Konventionen (Symbolisches Zeichen)

Alltagsgeräusche sind fast immer **indexalische Zeichen**, denn die meisten Geräusche haben eine Ursache, auf die sie verweisen und werden meist nach der Ursache benannt. Beispielsweise sagt man, dass man eine Autotür hört, dabei hört man das Geräusch, das durch die Interaktion mit der Autotür entsteht und unter anderem auf das Vorhandensein einer Autotür verweist. Insbesondere Auditory Icons imitieren diesen kausalen Zusammenhang für virtuelle Objekte auf der virtuellen Ebene. Werden Zeichen über einen langen Zeitraum verinnerlicht, werden sie so intuitiv wie Indexe wahrgenommen. **Ikonische Zeichen** übernehmen nur einige Eigenschaften des referenzierten Objekts. Diese Eigenschaften können rein strukturell sein wie bei einem elektrischen Schaltplan als Zeichendarstellung einer Platine. Spearcons sind ikonische Zeichen der bei der Erzeugung verwendeten Phrasen, da sie eine klangfarbliche Ähnlichkeit besitzen. Wie man erkennen kann, gibt es verschiedene Abstufungen der Ikonizität, die Skala füllt den gesamten Bereich von identischer Darstellung bis hin zu rein symbolischer Darstellung. **Symbolische Zeichen** bestehen in keiner natürlichen Beziehung zum bezeichneten Objekt, ihre Bedeutung

beruht ausschließlich auf kulturellen Konventionen. Beispielsweise wird der Klang einer Kirchturmglocke in christlichen Gesellschaften als Aufforderung gesehen, zum Gottesdienst zu gehen. In anderen Religionsgemeinschaften werden dafür andere akustische Signale verwendet.

Gaver versucht in seiner Arbeit über Auditory Icons die Begriffe der Semantik für das Mapping der Sonifikation zu übertragen [Gav86]. Er verwendet dazu die Begriffe *nomic*, *metaphoric* und *symbolic*. Beim **nomic Mapping** werden virtuelle Objekte durch akustische Aufnahmen dargestellt. Beim **metaphoric Mapping** werden die Variablen einer Dimension auf eine andere Dimension übertragen, wie zum Beispiel ein Herunterfallen durch eine fallende Tonhöhe dargestellt wird. **Symbolic Mapping** basiert auf sozialen Konventionen und beschreibt keine natürlichen Eigenschaften. Gaver begründet mit der Ähnlichkeit zwischen Zeichen und Objekt, dass *nomic Mapping* am einfachsten zu Erlernen sein sollte und *symbolic Mapping* am schwersten.

Auf Grundlage dieser beiden Klassifizierungen schlägt Oswald eine semiotikbasierte Systematik der auditiven Zeichen in Computer-Interfaces vor [Osw12]. Diese Systematik wird in Tabelle 3.1 dargestellt.

INDEX	IKON (BILDlich)	IKON (METAPHORISCH)	SYMBOL
(Parametrisierte) Geräusche	Imitierende Geräusche	Musikalische Motive	Einzelne Töne

Tabelle 3.1: Vorschlag für eine semiotikbasierte Systematik der auditiven Zeichen in Computer-Interfaces (Quelle: [Osw12])

Mit **parametrisierten und nicht-parametrisierten Geräuschen** sind Aufnahmen realer Gegenstände gemeint, die aufgrund ihres realistischen Klangs am leichtesten wie Indexe wahrgenommen werden können. Ikonische Zeichen können eine hohe oder niedrige Ikonizität besitzen, sie haben einen bildliche oder metaphorische Ähnlichkeit. **Imitierende Geräusche** besitzen eine hohe Ähnlichkeit mit dem bezeichneten Objekt, wohingegen **musikalische Motive** nur metaphorische Ähnlichkeit haben, da Eigenschaften auf eine andere Dimension der Darstellung übertragen werden müssen. **Einzelne Töne** besitzen höchstens eine symbolische Bedeutung, da sie in der Realität kaum vorhanden sind.

3.5 Digital Sound

Im folgenden Abschnitt werden die Möglichkeiten der Erzeugung und Modulation digitaler Klänge analysiert. Zunächst werden die Grundlagen der digitalen Signalverarbeitung beschrieben, danach wird dieses Wissen für die digitale Klangsynthese und Modulation angewendet.

Das Signal als Schwingung

Reine Töne besitzen eine harmonische Schwingung. Diese kann durch eine Sinus- oder eine Kosinusfunktion beschrieben werden. Der Unterschied zwischen beiden Beschreibungen ist nur deren Phase, denn durch eine Verschiebung der Phase kann die Kosinusfunktion durch eine Sinusfunktion ersetzt werden.

Eine kosinusförmige Schwingung wird auch von einem ungedämpften Federpendel erzeugt, das damit ein anschauliches Modell für elastische Schwingungen ist. Beschreiben lässt sich die Auslenkung ξ des Federpendels abhängig von der Zeit t durch die Formel

$$\xi(t) = \xi_0 \cos(\omega t - \varphi_0)$$

mit der Amplitude ξ_0 , der Kreisfrequenz ω und der Nullphase φ_0 . Die Nullphase φ_0 bestimmt die Phase zum Zeitpunkt $t = 0$, die Schwingung eines realen Pendels beginnt stets mit der maximalen Amplitude

und somit ist stets $\varphi_0 = 0$. Die Kreisfrequenz ω bestimmt die Periodendauer T in Sekunden und die einfache Schwingungsfrequenz f in Hertz, mit denen sie durch die Formel

$$T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega}$$

in Beziehung steht.

Durch die Eulersche Formel $\cos x + j \cdot \sin x = \exp^{jx}$ kann die trigonometrische Beschreibung einer harmonischen Schwingung in eine komplexe Darstellung überführt werden. Die entstehende Formel erscheint nicht so anschaulich, dafür ist sie algorithmisch einfacher anwendbar.

$$\underline{\xi}(t) = \xi_0 \exp^{j\omega t}$$

Die trigonometrische Darstellung entspricht dabei dem Realteil der komplexen Darstellung. Die exponentielle Darstellung kann man sich als rotierenden Zeiger in der komplexen Ebene vorstellen, seine Länge ξ_0 entspricht der Amplitude und seine Rotationsfrequenz ω der Kreisfrequenz. Die Richtung des rotierenden Zeigers zum Zeitpunkt $t = 0$ bildet den Phasenwinkel ab. [Gör08]

Analog- und Digitalwandlung

Bis jetzt wurden Schwingungen als analoge Signale mit kontinuierlichen Zeit- und Wertebereich betrachtet. Für die computerbasierte Verarbeitung müssen analoge Signale in digitale Signale transformiert werden. Dies erfolgt durch Analog-Digital- und Digital-Analog-Wandler. Das Prinzip dieser Signalwandlung mithilfe eines Multibit-Wandlers wird in der Abbildung 3.4 dargestellt. Bitstream- bzw. Sigma-Delta-Wandler, die durch die Berechnung von relativen Werteströmen anstatt absoluten Werten effizienter arbeiten, sind heutzutage weiter verbreitet, jedoch können die Prinzipien und Schwierigkeiten der Signalwandlung anschaulicher durch Multibit-Wandler erläutert werden. [Gör08]

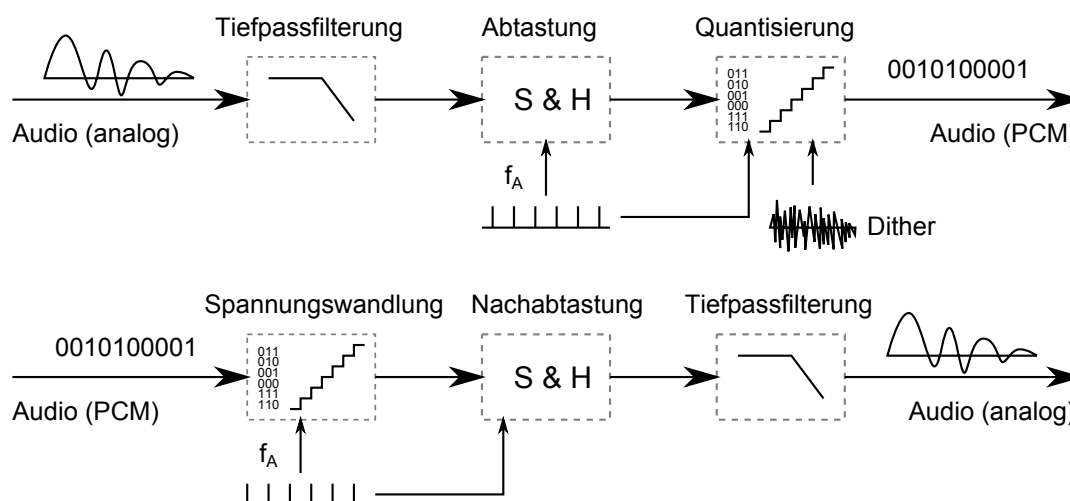


Abbildung 3.4: Prinzip der Analog-Digital- und Digital-Analog-Wandlung durch einen Multibitwandler nach [Gör08]

Bei der Analog-Digital-Wandlung werden aus dem analogen Signal zunächst durch einen Tiefpassfilter Frequenzen weit oberhalb des Hörbereichs entfernt, dann wird mit einer Sample&Hold-Schaltung (S&H, „Abtasten und Halten“) ein zeitdiskretes Signal geschaffen, dessen analoge Wertstufen schließlich mit einem Quantisierer durch Binärzahlen ausgedrückt werden. Das Ergebnis ist ein pulscodemoduliertes Signal (PCM) bestehend aus Binärzahlen im Zweierkomplement. Die Digital-Analog-Wandlung von einem digitalen in ein analoges Signal verläuft entsprechend in umgekehrter Reihenfolge. Das digitale

Signal wird durch einen Spannungswandler von Binärzahlen in treppenförmige Stromspannung gewandelt. Eine Sample&Hold-Schaltung verringert anschließend die Tastverhältnisse und schließlich werden unerwünschte, hohe Frequenzen durch einen Tiefpassfilter entfernt.

Warum wird ein Tiefpassfilter benötigt? Kurz gesagt, die nicht hörbaren, hohen Frequenzen können das Signal verfälschen. Eine periodische Schwingung benötigt mindestens zwei Stützstellen, um eindeutig definiert zu sein. Wird eine Schwingungsperiode durch weniger Abtastwerte beschrieben, so kann es sein, dass bei der Rückwandlung die Stützstellen als tiefere Frequenz interpretiert werden. Dieser Effekt bei Unterabtastung wird auch **Aliasing** genannt. Nach dem Fourierschen Satz kann jedes Signal in harmonische Schwingungen verschiedener Frequenz, Amplitude und Phase zerlegt werden. Für jeden dieser Teiltöne muss eine Unterabtastung verhindert werden, damit keine störenden Verzerrungen im Signal entstehen. Dies besagt das Abtasttheorem

„Zur vollständigen Beschreibung eines beliebigen Signals mit der oberen Grenzfrequenz f_{max} genügen pro Sekunde $2 \cdot f_{max}$ äquidistante Stichproben des Signalverlaufs.

$$f_A \geq 2 \cdot f_{max}$$

f_A ist die Abtastrate oder Tastfrequenz (engl. sampling rate).“ [Gör08]

Um das Abtasttheorem zu erfüllen, ist es folglich notwendig, vor der Digitalisierung hohe Frequenzen aus dem Signal zu entfernen. Der menschliche Hörbereich mit $f_{max} = 20kHz$ wird meist mit $f_A = 44,1kHz$ oder $48kHz$ anstatt genau $40kHz$ abgetastet, weil Tiefpassfilter nur eine endliche Flankensteilheit besitzen und damit ein gewisser Frequenzbereich nötig ist, innerhalb dessen die jeweiligen Frequenzen nur allmählich abgeschwächt werden. Durch Oversampling - einer höheren Abtastfrequenz - kann dieser Frequenzbereich auch vergrößert werden, um Tiefpassfilter mit geringerer Flankensteilheit einzusetzen, die dadurch weniger Phasenfehler produzieren. Oversampling hat den weiteren Vorteil, dass es den Rundungsfehler bei der Diskretisierung der abgetasteten Werte reduziert und somit ein geringeres Dither Signal von Nöten ist.

Bei der Digital-Analog Wandlung muss berücksichtigt werden, dass die durch Aliasing oder Modulation entstehenden, störenden Frequenzen nicht in das Signal hinein interpretiert werden. Deshalb wird auch bei der Rekonstruktion des Analogsignals ein Tiefpassfilter benötigt, der die ungewollten Frequenzen herausfiltert. [Gör08]

Bearbeitung digitaler Signale

Als digitales Signal wird die Funktion eines reinen Tons in Abhängigkeit vom Abtastwert (Sample) dargestellt:

$$x(n) = A \cos(\omega n + \varphi)$$

Die mathematische Funktion ist abhängig vom Sample Index n und besitzt die Variablen maximale Amplitude A , Kreisfrequenz ω und Phasenverschiebung ϕ .

In der Signalverarbeitung wird alles, was Signale überträgt, System genannt. Systeme werden durch ein Eingangssignal $s(t)$ und eine Systemantwort $g(t)$ modelliert. Besondere Bedeutung haben dabei **lineare zeitinvariante Systeme (LTI-Systeme)**. Sie besitzen die beiden Eigenschaften Linearität und Zeitinvarianz. Linearität bedeutet: Die Systemantwort auf die Summe zweier Signale ist die selbe wie die Summe der beiden einzelnen Systemantworten (Superpositionsprinzip). Zeitinvarianz ist dadurch definiert, dass bei der zeitlichen Verschiebung des Eingangssignals die Systemantwort ebenso verschoben wird. Damit können LTI-Systeme höchstens linear verzerren, das heißt es werden nur (frequenzabhängig) Amplitude und Phase verändert, es entstehen keine neuen Teiltöne. Außerdem spielt bei diesen Systemen die Reihenfolge der Verkettung verschiedener Teilsysteme keine Rolle, die Systemantwort ändert sich nicht. LTI-Systeme sind nur ein Modell für reale Systeme, bei denen Nichtlinearität und Zeitvarianz

nicht vermeidbar ist, aber meist soweit minimiert wurde, dass diese Verzerrungen vernachlässigbar sind. [Gör08]

Betrachten wir eine beliebige Funktion nach der Zeit $s(t)$. Diese kann durch Rechteckfunktionen $d(t)$ mit der Breite T_0 und der Höhe $\frac{1}{T_0}$ approximiert werden. Man erhält

$$s(t) \approx s_{Approx}(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} s(nT_0)d(t - nT_0)T_0$$

$d(t - nT_0)T_0$ ist ein um nT_0 nach rechts verschobenes Rechteck mit der Höhe 1.

Wird die Funktion $s(t)$ nicht mit einem Rechteck, sondern mit einem Dirac Stoß approximiert, erhält man das Faltungintegral. Eine Impulsantwort $h(t)$, die mit dem Eingangssignal $s(t)$ gefaltet wird, beschreibt ein LTI vollständig.

Zwischen Zeit und Frequenz

Digitalisierte, akustische Signale werden beispielsweise als Wavetable in einer *.wav-Datei gespeichert. Diese verlustfreie und unkomprimierte Speicherung der Wavetable ist vor allem für die digitale Nachbearbeitung geeignet. De-facto Standard für Musikspeicherung für Endverbraucher ist MP3(MPEG-1 Layer 3). Dieses Format nutzt verschiedene Möglichkeiten der Komprimierung unter anderem den Maskierungseffekt des menschlichen Gehörs (siehe Abschnitt 3.2). Dabei werden nicht hörbare Anteile der akustischen Signale ausgefiltert und nicht gespeichert. Dafür ist die Transformation des Signals von der Darstellung im Zeitbereich in die Darstellung im Frequenzbereich notwendig, das heißt das Signal wird nicht durch seine Amplitude zu dem jeweiligen Zeitpunkt dargestellt, sondern durch seine Teilfrequenzen in einem bestimmten Zeitfenster. Für die Generierung von MP3-Dateien wird eine modifizierte diskrete Cosinus Transformation(MDCT) verwendet, allgemein spricht man von der Fouriertransformation.

Das Fourier-Integral der diskreten Fourier Transformation wird durch folgende Summe beschrieben:

$$F\{x(n)\} = X(k) = \sum_{n=0}^{M-1} x(n) \exp^{-j2\pi nk/M} \quad k = 0, \dots, M - 1$$

Für die Rücktransformation in den Zeitbereich wird entsprechende, inverse Transformation verwendet:

$$F^{-1}\{X(k)\} = x(n) = \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} X(k) \exp^{j2\pi nk/M} \quad n = 0, \dots, M - 1$$

M entspricht der Zeitlänge der Fensterfunktion. Eine harte „Fensterung“ durch ein rechteckiges Zeitfenster erzeugt einen großen Fehler, da das Signal in willkürliche Bereiche eingeteilt wird. Die Verwendung einer Fensterfunktion, die mit einer Kennlinie das Signal ein- und ausblendet, kann den Fehler minimieren.

Die Faltung im Zeitbereich entspricht der Multiplikation im Frequenzbereich und umgekehrt. Diesen Effekt nutzt die schnelle Faltung, sie transformiert Eingangssignal und Impulsantwort mit der schnellen Fouriertransformation (FFT) in den Frequenzbereich, multipliziert sie und transformiert das Ergebnis wieder in den Zeitbereich. Dadurch kann eine Signalfaltung in Echtzeit durchgeführt werden.

3.6 Klangsynthese

In der Praxis basieren viele Softwaresynthesizer auf den Techniken der analogen Vorläufer, somit kann auf eine lange Entwicklungsgeschichte zurückgeblendet werden. Um einen Einblick in die Möglichkei-

ten der Klangsynthese zu bieten, werden im folgenden Abschnitt einige Techniken zur synthetischen Klangerzeugung vorgestellt und bewertet. Wichtig ist dabei die Verwendbarkeit für mobile Systeme. Dafür sollte die Synthese durch geringen Rechenaufwand möglichst in Echtzeit verwendbar sein und dennoch gleichzeitig mehrere Stimmen und Klangfarben unterstützen. Einerseits sollten dem Entwickler möglichst viele, gut unterscheidbare akustische Parameter zur Verfügung stehen, andererseits sollten die Menge akustischer Parameter, die nicht zur Übermittlung von Informationen nutzbar ist, möglichst gering sein, um die Einarbeitungszeit, die nötigen Designentscheidungen und damit den Erstellungsaufwand zu begrenzen.

Additive Klangsynthese

Additive Klangsynthese setzt Klänge durch Überlagerung mehrerer Sinuswellen zusammen. Dadurch lassen sich theoretisch alle möglichen realen Klänge nachbilden. Um den Klang natürlicher erscheinen zu lassen, kann dem Klang durch eine ASDR-Hüllkurve der zeitliche Amplitudenverlauf von einem Klang eines Musikinstruments gegeben werden. Die ASDR-Hüllkurve abstrahiert den Amplitudenverlauf durch die vier Phasen Attack, Sustain, Decay und Release. [Gör08]

Durch die vollständig manuelle Komposition eines Klangs aus seinen Teiltönen besitzt diese Technik hohe Flexibilität. Allerdings sind für die Synthese natürlich klingender Geräusche viele Teilschwingungen nötig und damit wird die Anzahl an Parametern beinahe unüberschaubar. Außerdem ist der benötigte Rechenaufwand durch ein solches System erheblich und daher nicht für die mobile Anwendung geeignet.

Subtraktive Klangsynthese

Die subtraktive Klangsynthese ist das wichtigste Prinzip von analogen Synthesizern. Es wird ein komplexes Grundsignal verwendet, das auf verschiedene Arten gefiltert und moduliert wird. Typische Grundsignale wie Sägezahn, Rechteck, Dreieck usw. können von Oszillatoren generiert werden (siehe Abb. 3.5). Auch weißes oder rosa Rauschen wird häufig als Grundsignal verwendet. Dabei enthält weißes Rauschen pro Frequenzabstand, rosa Rauschen pro Tonhöhenabstand immer die gleiche Energie. Durch diese Verteilung wirkt rosa Rauschen unter musikalischen Gesichtspunkten gleichmäßiger, wohingegen weißes Rauschen sehr höhenlastig erscheint. Den Basissignalen können durch Filter bestimmte Frequenzbereiche entfernt oder durch Verstärker verschiedene Amplituden erzeugt werden. Um besondere Klänge zu erzeugen werden die Steuersignale für Filter und Verstärker gezielt modifiziert, beispielsweise wird der Filter mit einem Oszillator niedriger Frequenz angesteuert oder der Verstärker wird genutzt um eine Hüllkurve zu erzeugen. Interessante Modulationen sind Amplitudenmodulation und die Frequenzmodulation. Damit können Tremolo und Vibrato erzeugt werden. [Anw11]

Diese Technik ist wie auch die additive Klangsynthese sehr flexibel einsetzbar und es können damit gut neuartige Klänge erzeugt werden. Für auditive Interfaces ist sie allerdings nicht gut geeignet, da es schwierig ist das Ergebnis der Signalmanipulationen vorherzusagen. [Bre03]

Physical Modelling

Beim Physical Modelling werden physikalische Eigenschaften eines Musikinstruments oder eines beliebigen Untersuchungsobjekts in einem mathematischen Modell nachgebildet. Dazu wird das mechanische und akustische Verhalten des simulierten Objekts durch mathematische Gleichungen beschrieben. Mit dieser Technik ist es sehr gut möglich, die realen Klangeigenschaften von Musikinstrumenten nachzuahmen. Es können damit sogar nicht existierende Instrumente konstruiert werden. Für die Simulation von Umgebungsgeräuschen wäre Physical Modelling sehr interessant, allerdings können die Modelle sehr komplex sein und es wird sehr viel Rechenleistung für die Simulation benötigt. Damit ist diese Technik ebenfalls für Mobilgeräte nicht geeignet. [Bre03]

Wavetable-Synthese

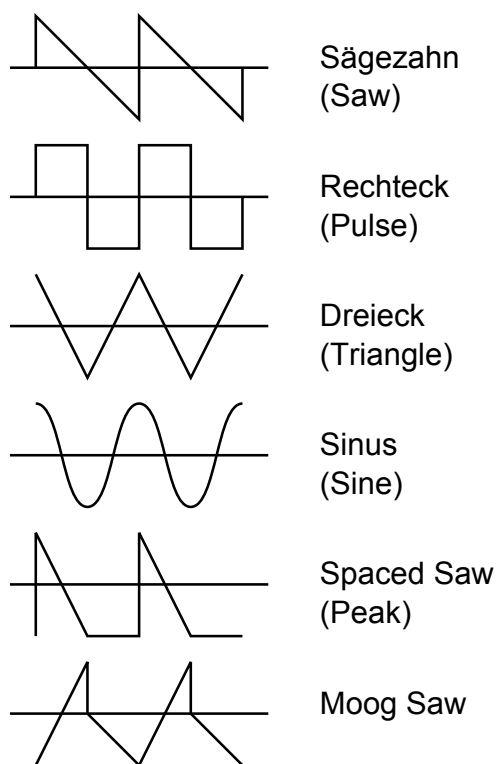


Abbildung 3.5: Häufigste Kurvenformen analoger Oszillatoren nach [Anw11]

Die Wavetable-Synthese ist ähnlich der subtraktiven Synthese: Sie basiert auf Basissignalen, die durch verschiedene Techniken verändert werden. Aber anstatt einfachen Wellenformen und Rauschen werden aufgezeichnete Geräusche und Klänge als Grundsignale verwendet. Da man Basissignale verwenden kann, die schon nahe am gewünschten Ergebnis liegen, müssen nur die Signalveränderungen berechnet werden, die als akustische Parameter zur Informationsübertragung verwendet werden. Dadurch ist diese Technik für die Echtzeitanwendung auf leistungsschwachen Geräten geeignet. Die Liste der Basissignale kann man sich als Tabelle von Soundmustern vorstellen, aus denen das gewünschte Geräusch gewählt werden kann. Damit ergibt sich ein weiterer Vorteil der Wavetable-Synthese. Man hat einen guten Überblick über die Designmöglichkeiten und kann das Ergebnis relativ gut vorhersagen. [Bre03]

Für die Erstellung der Soundmuster können einerseits beliebige andere Synthesetechniken verwendet werden, um neuartige Klänge zu erzeugen. Andererseits können reale, analoge Geräusche aufgenommen, digitalisiert und in der Wavetable gespeichert werden. Damit können leicht Umgebungsgeräusche - wie die von Maschinen, Menschen oder Tieren verursachten Geräusche - verwendet und gezielt einzelne akustische Parameter verändert werden. Im Internet existieren sogenannte Audiodatenbanken bei denen fertige Aufnahmen unter verschiedenen Lizenzbedingungen heruntergeladen und verwendet werden können.

Eine Variante der Wavetable-Synthese ist die Granularsynthese. Dabei werden Klänge aus vielen kleinen Einzelklängen bzw. einzelnen Schwingungsperioden, sogenannten Grains zusammengesetzt. Diese werden mehrfach hintereinander gefügt und kombiniert und dadurch ein Gesamtklang konstruiert.

3.7 Gestaltungsraum der Klangerzeugung

In diesem Abschnitt sollen bisherigen Erkenntnisse über akustische Gestaltungsmöglichkeiten zu einem Gestaltungsraum zusammengefasst werden. Es wird also die Frage beantwortet, welche Parameter geeignet sind, um Informationen zu übertragen. Aus der Sicht der Wahrnehmungspsychologie wissen wir, dass Schallereignisse eine Lautstärke, Tonhöhe, Klangfarbe und Position besitzen. Aus der Sicht der Musik besitzen sie eine Tonlage sowie Chroma und hören sich harmonisch oder dissonant an. Aus der Sicht der Signaltheorie betrachtet sind Schallereignisse eine Wellenform, die innerhalb zeitlicher Abschnitte ihre Teilfrequenzen zerlegt werden kann. Eine Teilfrequenz besitzt eine Amplitude, eine Periodendauer und eine Phase. Aus Sicht der Klangsynthese moduliert man Basissignale mit Filtern und Effekten. Doch welche der ganzen Parameter eignen sich nun, um qualitative und quantitative Informationen zu vermitteln? 1994 hat der Geograph John Krygier einen akustischen Gestaltungsraum aufgestellt [Kry94]. Dabei bewertete er akustische Parameter nach ihrer Eignung für nominale und ordinale Variablen. Diese Einteilung wurde in einer Gebrauchstauglichkeitsstudie zur Sonifikation von Karten von Jochen Schiewe und Beate Weninger aufgegriffen und um eine Bewertung für metrische Variablen (Intervallskala mit Nullpunkt) erweitert [SW12]. In der Tabelle 3.2 sind die Bewertungen für alle drei Variablenskalen zusammengefasst.

AKUSTISCHER PARAMETER	NOMINAL	ORDINAL	METRISCH
Lage	o	+	+
Lautstärke	-	+	+
Tonhöhe	-	+	+
Tonlage	-	+	-
Klangfarbe	+	-	-
Dauer	-	+	+
Tempo	-	+	+
Reihenfolge	-	+	-
An- und Abklingen	-	+	-

Tabelle 3.2: Akustische Parameter und ihre Eignung zur Abbildung von Variablen­skalen nach [Kry94] (Nominal- und Ordinalskalen) und [SW12] (Intervallskala)

Lage: Dieser Parameter kann in Entfernung und Richtung zerlegt werden. Um ihn zu erzeugen können entweder mehrere, im Raum platzierte Tonquellen verwendet werden oder der Raumklang wird durch die HRTF simuliert. Für die mobile Anwendung stehen entweder ein Lautsprecher oder Stereo-Kopfhörer zur Verfügung, die Richtung muss also wie in Abschnitt 3.2 besprochen durch interaurale Zeitdifferenz und Pegeldifferenz und durch Veränderung des Frequenzspektrums simuliert werden. Die Entfernung kann durch Lautstärke, Hall und Tiefpass nachgeahmt werden [LL11].

Lautstärke: Unterschiede in der Lautstärke sind von 2 dB bis 5 dB gerade noch wahrzunehmen, 5 dB - 10 dB sind deutlich wahrnehmbar und 10 dB - 20 dB erscheinen als große Lautstärkeunterschiede [SW12]. Nimmt man an, ein angenehmer Hörbereich liegt bei 45 dB bis 65 dB ergeben sich lediglich fünf nutzbare Hörstufen. Neben dieser quantitativen Nutzung eignet sich die Lautstärke auch gut zur Darstellung der Entfernung. Wird die Lage bereits als Parameter oder wird das System in einer lauten Umgebung verwendet, sollte die Lautstärke keine weiteren Informationen vermitteln. Sich wiederholende Klänge von konstanter Lautstärke werden mit der Zeit nicht mehr bewusst wahrgenommen. Ändert sich plötzlich die Lautstärke, wird diese wieder bewusst wahrgenommen [Kry94].

Tonhöhe: Aufgrund des menschlichen Hörbereichs sind 4-5 Oktaven gut zu unterscheiden, dies entspricht 48-60 Tonhöhenstufen [SW12]. Jede zwölfte Tonhöhenstufe hat die gleiche Chroma und kann damit als zusätzliche Dimension verwendet werden [Kry94]. Besonders der Vergleich zwischen nicht zu weit entfernten Frequenzen kann von den meisten Menschen gut eingeschätzt werden. Nur etwa 1% der Menschen besitzen ein absolutes Gehör und können Frequenzen ohne Referenzhöhe erkennen [Bre03]. Auch zu große Intervalle können schlecht unterschieden werden [Kry94].

Tonlage: Die Tonlage bezeichnet Teilmengen von Tonhöhen. In der Musik werden beispielsweise die Tonlagen Sopran, Alt, Tenor und Bass unterschieden. Diese Unterscheidung kann beispielsweise bei Earcons verwendet werden, die bereits Tonhöhe als Informationsträger verwenden, um zusätzliche Informationen zu vermitteln [Kry94].

Klangfarbe: Die Klangfarbe ist die allgemeine Charakteristik eines Klangs. Sie wird teilweise durch das Spektrum und die Dynamik eines Klangs bestimmt. Sie lässt sich leicht wahrnehmen und unterscheiden [Bre03]. Die meisten Menschen sind es gewohnt Musikinstrumente anhand ihrer Klangfarbe zu unterscheiden und so können diese gut für nominale Informationen verwendet werden. Die Klangfarbe eignet sich für qualitative Variablen besser als für quantitative, da es keine natürliche Vergleichbarkeit gibt. Es ist nicht üblich, einen Klang als „klavieriger“ oder „geigiger“ als einen anderen zu bezeichnen.

Dauer: Die Dauer eines Klangs und die Dauer einer Pause zwischen zwei Klängen können als Informationsträger genutzt werden. Es sind nur kurze Zeitspannen gut unterscheidbar und beim Vergleich mehrerer Werte steigt die Gesamtdauer schnell an [SW12].

Tempo: Das Tempo wird durch die Kombination Klangdauern und Pausendauern erzeugt. Die mögliche Auflösung wird auf 4bpm (beats per minute, Schläge pro Minute) geschätzt [SW12], hängt allerdings stark von Klangdauer und Pausen ab. Verschiedene Tempi sind schwer zu vergleichen, da die Gesamtdauer schnell zunimmt und eine absolute Geschwindigkeit allein durch das Gehör kaum festgestellt werden kann.

Reihenfolge: Die Reihenfolge der Klänge im zeitlichen Verlauf. Dabei kann eine natürliche Reihenfolge verwendet werden - wie beispielsweise von niedriger bis hoher Tonhöhe oder Lautstärke - bei der die Nichteinhaltung der Reihenfolge direkt erkannt wird. So können gut Muster in den Daten gefunden werden [Kry94]. Alternativ kann die Reihenfolge zusammen mit einem Rhythmus auch für die Bildung von charakteristischen Melodien genutzt werden. Dies ist beispielsweise bei Earcons der Fall.

An- und Abklingen: Die Anklingzeit ist die Zeit, die ein Klang braucht bis er seine maximale Lautstärke erreicht hat, die Abklingzeit ist analog definiert. Bei qualitativen, statistischen Daten könnte die Anklingzeit zum Beispiel zur Darstellung der Streuung verwendet werden [Kry94]. Dieser Parameter ist eine einfachere Form der ASDR-Hüllkurve, bei der der vollständige Amplitudenverlauf mit vier Phasen beschrieben wird.

Neben diesen Gestaltungsparametern gibt es noch unzählig weitere, die teilweise bereits angesprochen wurden und für die Informationsübertragung denkbar sind. Diese wurden aber nicht eingehend auf ihre Eignung überprüft und es ist anzunehmen, dass viele davon sich nur für die Übermittlung nominaler Informationen eignen.

3.8 Vibrationen

Schallwellen werden durch sehr schnelle Vibrationen erzeugt. Diese Vibrationen können nicht nur durch die Luft übertragen und mit dem Ohr wahrgenommen werden, sondern die Materialschwingungen können auch direkt gespürt werden. Aufgrund dieses physikalischen Zusammenhangs besitzen Vibrationen ähnliche Parameter wie akustische Schallwellen:²

- Amplitude (Intensität)
- Frequenz
- Phase (bei direktem Vergleich zweier Schwingungen)
- Wellenform als Funktion der Zeit
- Position des Reizes auf der Haut

Die Rezeptoren der Haut sind allerdings nicht so empfindlich wie die des Gehörs. Vibrationen werden nicht so genau in ihre Bestandteile aufgelöst wie akustische Schwingungen, daher ist die Klangfarbe nicht als Parameter verwendbar. Auch die Tonhöhe wird nicht so genau unterschieden, es dürfte nur eine grobe Unterscheidung der Frequenz möglich sein, vergleichbar mit der Tonlage. Folglich können nur die Parameter Vibrationsstärke, Frequenz, Dauer, Tempo, Reihenfolge, An- und Abklingen als Vibrationsparameter verwendet werden.

Ein recht weit entwickeltes Konzept einer haptischen Fußgängernavigation für Smartphones ist der taktile Kompass, aus dem die kostenlosen Android Anwendung **Pocket Navigator** entstanden ist [PPHB11,

²URL: <http://www.noogenesis.com/eta/design.html> Stand: Februar 2013

PPHB12]. Die Anwendung nutzt visuelle und taktile Informationen zur Führung des sehenden Anwenders. Visuell wird auf Kartendaten von Open Street Map zurückgegriffen, auf denen eine vorgeschlagene Route angezeigt wird. Gleichzeitig zeigt der taktile Kompass die Richtung und Entfernung des Ziels in Luftlinie an. Dabei bestimmt die Richtung das Vibrationsmuster und die Entfernung bestimmt das Tempo des taktilen Kompasses. Die verwendeten Vibrationsmuster sind in Abbildung 3.6 dargestellt. Der Kompass ist in 45° Winkel eingeteilt, stellt folglich 8 verschiedene Richtungen dar. Eine Richtung wird durch zwei Vibrationen dargestellt, die erste Vibration steht für links, die zweite für rechts. Je weiter der Nutzer sich nach links oder rechts bewegen soll, desto länger ist die Vibration in die jeweilige Richtung. Die Richtung „hinten“ stellt die Ausnahme dar, sie wird durch 3 kurze Vibrationen dargestellt. Entfernungen werden durch die Häufigkeit der Richtungsangaben repräsentiert, bei nahen Zielen wird die Richtung häufiger angegeben als bei weit entfernten Zielen.

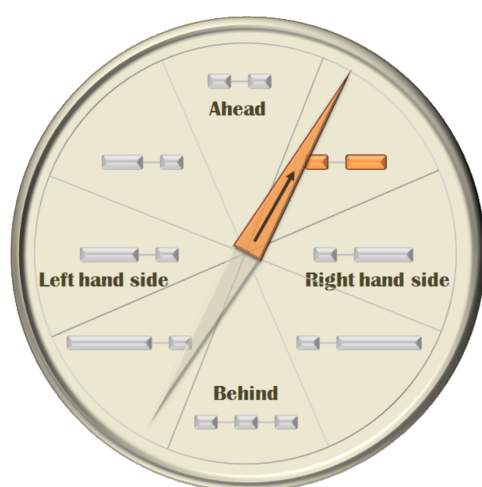


Abbildung 3.6: Taktile Kompass (Quelle: [PPHB12])

Weil dem Nutzer kein fester Weg durch turn-by-turn Anweisungen vorgeschrieben wird, kann er recht frei entscheiden, welche Richtung er wählt, um zu seinem Ziel zu gelangen. Wenn er einen guten Weg vorgeschlagen bekommen will, hat er die Möglichkeit sich an die Route auf dem Display zu halten. Für blinde Anwender ist das Gesamtsystem weniger geeignet, da es konzeptionell nur ungenaue Anweisungen bietet. Der taktile Kompass dient aber als Beispiel, wie eine haptische Interaktionstechnik gestaltet sein kann, um Richtungsangaben mit geringer kognitiver Belastung und Ablenkung zu präsentieren.

3.9 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurde Sonifikation aus verschiedenen Blickwinkeln beleuchtet. Es wurden mehrere Sonifikationstechniken vorgestellt und verglichen. Dabei hat sich gezeigt, dass für Navigationsanwendungen Auditory Icons und

Parameter-Mapping gut geeignet sind. Reale Objekte können durch Auditory Icons intuitiv erkannt werden, abstrakte Informationswerte können durch Parameter-Mapping dargestellt werden.

Für die mobile Anwendung ist die Wavetablesynthese am geeignetsten, da komplexere Synthesetechniken viel Rechenleistung benötigen. Diese steht bei Smartphones nicht zur Verfügung. Deshalb ist es sinnvoll auf vorgefertigte Klänge zurückzugreifen und diese durch einzelne Effekte zu parametrisieren.

Abschließend wurde der Gestaltungsraum beschrieben, der sich über alle Blickwinkel hinweg aufspannt. Er besteht aus den Parametern, die sich dazu eignen Information zu vermitteln.

4 Anforderungen und Abgrenzungen

Im folgenden Kapitel wird beschrieben, welche Anforderungen an eine Nutzerschnittstelle eines Navigationssystems zur Führung von blinden Fußgängern gestellt werden und welche Einschränkungen gemacht werden müssen.

Navigation wird im Duden als

“(..)Gesamtheit der Maßnahmen zur Bestimmung des Standorts und zur Einhaltung des gewählten Kurses.“¹

definiert. Es geht folglich darum, sich von einem Punkt gezielt zu einem anderen gewünschten Punkt zu bewegen. Das Problem der Navigation kann nach Downs et al.[DS82] in vier Teilprobleme zerlegt werden. Dies sind die Bestimmung der momentanen Position (Orientierung), die Planung der Route und Beibehalten des richtigen Weges, bis das Ziel entdeckt wird.

Die Orientierung bezeichnet die Fähigkeit, von der eigenen Position und Ausrichtung auf die Position von bekannten Landmarken zu schließen. Dafür müssen Landmarken auf einer Karte mit den Landmarken der aktuellen Umgebung auf Deckung gebracht werden. Landmarken bezeichnen Orte, die von anderen Orten eindeutig unterschieden und damit zur Orientierung genutzt werden können.

Die Routenplanung bezeichnet das Ableiten eines Handlungsplans aus dem Umgebungswissen mit dem Ziel zu einem bestimmten Ort zu gelangen.

Die Beibehaltung des richtigen Weges wird durch die Orientierung überprüft. Solange die vorhergesehenen Landmarken auch real vorhanden sind, befindet man sich noch auf dem geplanten Weg. Besonders vorteilhaft sind dabei längliche „Landmarken“, die sich entlang der Route erstrecken, im weiteren auch Orientierungskanten genannt.

Die Entdeckung des Ziels bezeichnet das Wahrnehmen der letzten Landmarke auf der Route, die das Ziel ist.

4.1 Ziel und Abgrenzung

Ziel der Arbeit ist es, eine „mobile Anwendung zur Sonifikation zu entwickeln, welche blinde und sehbehinderte Menschen bei der Routenverfolgung und Erkundung unterstützt ohne die akustische Wahrnehmung oder Konzentration auf die Mikronavigation stark einzuschränken“. Dafür werden non-verbale Signale erstellt, die für die Aufgaben der Navigation geeignet sind. Mit diesen wird ein Konzept einer Benutzungsschnittstelle für die dynamische Fußgängernavigation entwickelt und prototypisch umgesetzt. Der Prototyp wird abschließend in einer Pilotstudie auf seine Gebrauchstauglichkeit evaluiert. Es wird also keine komplette Navigationsanwendung implementiert, sondern eine Benutzungsschnittstelle zur dynamischen Führung von Blinden und Sehbehinderten auf Basis der Sonifikation entworfen und getestet. Techniken der Positionsbestimmung, Routenplanung, die Plattform usw. werden dabei als vorgegebener Kontext gesehen, der im folgenden beschrieben wird.

¹URL: <http://www.duden.de/rechtschreibung/Navigation> Stand: Jan 2013

4.2 Positionsbestimmung

Blinde und sehbehinderte Menschen haben aufgrund des geringen Wahrnehmungsbereichs häufig ein Problem bei der Orientierung. Ein Navigationssystem sollte folglich an diesem Punkt ansetzen und sie dabei unterstützen. Dies kann es natürlich nur, wenn das Gerät die Position besser bestimmen kann als der Anwender. Daher werden nun die technischen Möglichkeiten zur Positionsbestimmung untersucht.

Die Positionsbestimmung ist das maschinelle Äquivalent zur menschlichen Orientierung. Bei der Orientierung verortet sich der Mensch auf seiner kognitiven Karte, bei der Positionsbestimmung verortet sich das Gerät auf seinem internen Umgebungsmodell.

Außerhalb von Gebäuden ist die Positionsbestimmung heutzutage einfach zu realisieren. Das Navigational Satellite Timing and Ranging - Global Positioning System (GPS) ist das de-facto Standardsystem, mit dem so gut wie jedes Smartphone ausgestattet ist. Die Position kann durch GPS je nach Verbindung zu den Satelliten auf wenige Meter genau bestimmt werden. Ein Funkempfänger empfängt das Signal von mehreren der 24 Satelliten in der Umlaufbahn der Erde. Die Satelliten übertragen Uhrzeit und Positionsdaten auf den Frequenzen 1575,42 MHz und 1227,6 MHz [Gri08]. Strahlungen dieser Frequenz können feste Materie jedoch nicht so tief durchdringen, dass das System in Gebäuden einsetzbar wäre.

Innerhalb von Gebäuden ist die Positionsbestimmung erstaunlich schwierig und es existiert noch kein weit verbreiteter Standard, obwohl schon viele verschiedene Ansätze entwickelt wurden. Einen detaillierten Überblick über die verschiedenen Positionsbestimmungssysteme in Gebäuden und ihren Vor- und Nachteilen bietet Yanying Gu et. al. in einer Arbeit [GLN09]. Danach kann die Systemarchitektur in drei Typen unterschieden werden:

Self-positioning architecture: Das Gerät berechnet seine Position nach äußeren Hinweisen selbst.

Infrastructure positioning architecture: Geräte im überwachten Bereich werden automatisch von der Infrastruktur erfasst.

Self-oriented infrastructure-assisted architecture: Das Gerät sendet eine Anfrage an die Infrastruktur, um seine Positionsinformationen vom System zu erhalten.

Der erste Ansatz zeichnet sich durch seine Einfachheit aus und ist relativ kostengünstig. Allerdings müssen aufgrund der vielen Störfaktoren in Gebäuden bisher große Abstriche bei der Genauigkeit der Positionsbestimmung gemacht werden. Die zweite Architekturvariante ist aus Datenschutzgründen nicht empfehlenswert. Für eine genaue Positionsbestimmung ist der dritte Ansatz geeignet, leider ist er kostenintensiv.

Zum anderen können die Positionsbestimmungssysteme nach ihrem verwendeten Hauptmedium klassifiziert werden: Infrarot (IR), Ultraschall, hörbarer Schall, Radio-Frequency Identification (RFID), Wireless Local Area Network (WLAN), Bluetooth, Sensor Netzwerke, Ultrabreitband (UWB), Magnetfeld und Bildanalyse sind einige der verwendbaren Medien. Sie besitzen jeweils Vor- und Nachteile, daher werden für verschiedene Anwendungen unterschiedliche Medien verwendet. Für die Object Avoidance und Sensory Substitution werden meist Kamera-, Laser- oder Ultraschallsysteme verwendet. Für die Navigation mit einem Mobilgerät sind nach [Kes12] folgende Techniken besonders geeignet:

Visuelle Mustererkennung: Die Position des Nutzers wird durch den Abgleich der Aufnahmen einer Kamera mit einem Raummodell bestimmt.

WLAN-Triangulation: Analog zur GPS-Trilateration werden die Signallaufzeiten von Funksignalen zu WLAN Access Points gemessen und daraus die aktuelle Position bestimmt. In wissenschaftlichen Arbeiten wurde für WLAN Trilateration eine Genauigkeit von 1-3 m festgestellt [WJL03]. Für diese Technik müssen ständig mehrere Access Points in der Reichweite des Empfängers sein. Bei der heutigen Verbreitung von WLAN Basisstationen ist diese Bedingung aber häufig bereits erfüllt.

Dead Reckoning: Durch das Wissen über die letzte bekannte Position des Nutzers und die gemessene oder geschätzte Positionsveränderung wird auf die aktuelle Position geschlossen. Ungünstig ist, dass durch die iterative Berechnung Fehler kumulieren. Durch Raummodelle oder Kombination mit anderen Techniken kann dieser Effekt reduziert werden.

Beacons: Durch das gezielte Aufstellen von Ortsmarkierungen an den Wegpunkten ist es möglich festzustellen, ob sich der Nutzer in der Nähe der Markierung befindet.

Magnetfeldmessung: Vermisst man das Magnetfeld eines Gebäudes und erstellt daraus eine Referenzkarte, so kann von dem gemessenen Magnetfeld an einer Stelle mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit auf die aktuelle Position geschlossen werden. Für die Positionsbestimmung über den magnetischer Fingerabdruck soll die Position in 88% der Zeit auf einen Meter genau bestimmt werden können [CDS⁺11].

Da die verschiedenen Techniken kombiniert werden können, dürfte mit einem gewissen Aufwand eine Positionsbestimmung auf etwa zwei bis drei Meter genau in baldiger Zukunft machbar sein. Smartphones besitzen zwar meist die Fähigkeit das Magnetfeld in drei Dimensionen über die Inertial Measuring Unit zu messen, leider kann diese Funktion aufgrund von Störfaktoren in Gebäuden nicht verwendet werden, um die Himmelsrichtung zu bestimmen. [Kes12]

Es wird folglich im Weiteren angenommen, dass die Position und die ungefähre Bewegungsrichtung bestimmt werden kann, doch nicht die Zeige- oder Blickrichtung des Nutzers. Ob die Positionsbestimmung durch Ortsmarkierungen (bzw. Fingerprints) und Dead Reckoning oder durch WLAN-Ortung durchgeführt wird, ist somit nicht relevant.

4.3 Routenplanung

Menschen lösen das Navigationsproblem normalerweise mithilfe ihrer kognitiven Karte. Sie orientieren sich daran und planen ihre Route mithilfe dieses Wissens. Ein Navigationssystem nutzt dazu ein internes Umgebungsmodell. Als Grundlage für ein solches Modell kann beispielsweise ein Gebäudegrundriss oder ein Flucht- und Rettungsplan genutzt werden [Ser12]. Für blinde und sehbehinderte Fußgänger müssen die Pläne mit weiteren Informationen annotiert werden. Im Rahmen des Mobility Projekts² wurde eine Methode entwickelt, wie man mit Google Earth³ diese analogen Pläne relativ einfach digitalisieren und annotieren kann [SWP⁺12]. Es wurden auch weitere Werkzeuge entwickelt, mit denen unter anderem die KML Datei durch XSL Transformation in eine SVG Karte und eine weitere XML Datei mit referenzierten Annotationen gewandelt werden kann.

Dieses interne Umgebungsmodell stellt die Grundlagen für die Routenplanung dar. Ein Algorithmus zur automatischen Generierung einer Route für Blinde wurde von Susanne Haase in ihrer Diplomarbeit entwickelt [Haa12]. Dabei wurden Bereiche, Orientierungskanten und Landmarken anhand eines Regelkataloges auf ihre Begehbarkeit bewertet. Mit einem Gitter über dem Gebäudeplan wurden anschließend mögliche Wege erzeugt und mithilfe des A*-Algorithmus die günstigste Route herausgesucht. Dadurch können nicht nur Gefahren auf der Route vermieden werden, sondern es können auch Wege mit den besten Orientierungsmöglichkeiten gefunden werden.

Eine Route setzt sich - wie in Abbildung 4.1 dargestellt - aus mehreren geraden Strecken zusammen, die durch Wegpunkte verbunden sind. So ergibt sich an jedem Wegpunkt ein Richtungswinkel, der die nötige Richtungsänderung darstellt, die zum nächsten Wegpunkt führt. Die Streckenabschnitte und Wegpunkte sind mit Attributen annotiert, die für die Führung wichtig sind. Da bei Blinden besonders die selbständige Orientierung eine große Herausforderung darstellt, ist es hilfreich Orientierungskanten anzugeben. Durch eine Referenzierung des Wegs auf die Karte können jederzeit weitere Informationen abgeleitet

²URL: <http://www.mobility-projekt.de/>

³URL: <http://www.google.com/earth>

werden, wie Raumstrukturen oder die Lage von Türen und Points of Interest. Durch diesen kartenbasierten Ansatz ergibt sich das Problem, dass mobile Objekte im Allgemeinen nicht erfasst werden können. Dies ist insbesondere bei unvorhergesehenen Hindernissen problematisch. So kann die aktuelle Position von Passanten, Fahrzeugen, Mülleimern, Baustellen, beweglichen Stühlen, Tischen, usw. nicht vom System festgestellt werden. Diese Hindernisse zu umgehen, ist Aufgabe der Mikronavigation. Allerdings müssen die damit verbundenen Probleme bei der Makronavigation Beachtung finden. Das System muss sich ausreichend tolerant verhalten, wenn der Nutzer Hindernisse umgeht. Es kann auch sein, dass er dadurch die Orientierung verliert und in eine falsche Richtung weiter läuft, dann muss das System ihm helfen wieder auf die Route zu gelangen.

4.4 Zielführung



Abbildung 4.1: Route in einem Gebäudeplan

Wie wird jemand zu einem Ziel geführt? Je genauer eine Navigationshilfe weiß, wo sich ein Nutzer befindet, desto hilfreicher und kompakter kann sie Führungsanweisungen geben. Wenn das Gerät die exakte Position bestimmen kann, so kann es den Nutzer auf dem internen Umgebungsmodell verorten und ihm die relativen Entfernungen von Objekten bzw. Zielen in der Umgebung mitteilen. Wenn die Position häufig genug exakt bestimmt werden kann, ist es dadurch möglich, die Bewegungsrichtung zu bestimmen und es können Aussagen getroffen werden, wie „Ihr Ziel ist die dritte Türe rechts“. Noch einfachere Führung ist möglich, wenn auch die Blickrichtung oder eine Zeigerichtung des Nutzers bestimmt werden kann. Dann ist es möglich Feedback zu geben, was sich in der jeweiligen Richtung befindet. Ist es nicht möglich, die Position exakt zu bestimmen, so kennt das System nur die absoluten Positionen von Objekten der Umgebung und kann nur Aussagen über die gegenseitige Position machen wie

beispielsweise auf einer Landkarte. Es ist also nötig, zwischen diesen Fällen zu unterscheiden.

Nehmen wir zunächst an, es ist die **exakte Position und Zeigerichtung / Blickrichtung bekannt**. Durch diese Information ist es möglich zu bestimmen, auf was der Nutzer gerade mit dem Gerät zeigt oder sein Kopf ausgerichtet ist. Eine solche Technik wird beispielsweise bei den Systemen Talking Signs⁴ oder dem Pocket Navigator⁵ verwendet. Damit ist es möglich, dass die Person den Raum durch Zeigen in verschiedene Richtungen erkundet. Dazu wird zu verschiedenen möglichen Zielen im Raum Feedback gegeben. Außerdem kann damit eine Führung erfolgen, indem der Nutzer die Zielrichtung anpeilt, während er sich in diese bewegt. Dies ermöglicht den großen Vorteil dieser Lösung: Es kann damit im freien Raum navigiert werden, der sonst keine Orientierungsmöglichkeiten für Blinde bietet. Leider ist für Nutzung dieser Technik in Gebäuden nur mit einer aufwendigen Positionsbestimmung möglich, beispielsweise indem an jedem möglichen Zielpunkt Infrarot-Beacons angebracht werden.

Nehmen wir nun an, die **Position ist bekannt und die Bewegungsrichtung des Nutzers kann abgeleitet werden**. Anhand dieses Input kann berechnet werden, ob sich der Nutzer weiter in diese Richtung bewegen sollte, um sein Ziel zu erreichen, oder ob er von der Route abweicht und die Richtung korri-

⁴URL: <http://www.talkingsigns.com/>

⁵URL: <http://www.pocketnavigator.org/>

giert werden sollte. Diese Information, in welche Richtung das Ziel liegt, muss dem Nutzer regelmäßig signalisiert werden. Diese Technik ist ähnlich der von Fahrzeugnavigationsgeräten, bei denen dem Nutzer akustisch durch Sprachausgabe angesagt und visuell durch einen Pfeil auf einer Karte gezeigt wird, wann er abbiegen, also die Richtung ändern soll. Die Führung von Fußgängern stellt dagegen weitere Anforderungen an das System, da es weniger feste Wege gibt, die eingehalten werden müssen. So gibt es viel mehr Möglichkeiten von der Route abzuweichen und insbesondere ist es schwierig, ohne visuelle Wahrnehmung im freien Raum ohne Orientierungskanten einem geraden Weg zu folgen. Durch eine gute Routenplanung kann dieses Problem minimiert werden, indem Personen immer möglichst entlang von Orientierungskanten geführt werden. Eine gute Führungstechnik in diesem Fall stellt beispielsweise die Verwendung von Raumklang dar [LGK98]. Dabei wird simuliert, dass das Ziel ein bestimmtes akustisches Signal aussendet, dass man dann in der entsprechenden Richtung und Entfernung wahrnimmt. Natürlich sind auch beliebige andere Signalkodierungen wie Sprache oder akustische Parameter denkbar.

Nehmen wir nun an, die **Richtung und Position des Nutzers sind nicht bekannt**. Es können somit nur Aussagen über die Beziehungen zwischen den Objekten der Umgebung getroffen werden. Ein bekanntes Beispiel, welches diese Informationen bietet, ist ein Lageplan. Der Nutzer bekommt die Umgebung darauf dargestellt, um diese Informationen nutzen zu können, muss er sich jedoch zunächst auf der Karte verorten. Es müssen folglich Orientierungsinformationen dargestellt sein, die sowohl in der Umgebung als auch im System zu identifizieren sind. Es gibt einige Ansätze, solche Pläne Blinden zugänglich zu machen, aber für die Navigation ist diese Technik relativ umständlich. Besonders im freien Raum mit wenig Landmarken ist sie ungeeignet zur effektiven Wegfindung. [LGK98]

Im Abschnitt 4.2 wurde bereits festgestellt, dass es uns in Gebäuden nur mit begrenzter Genauigkeit möglich ist, die Position zu bestimmen und dass es nicht möglich ist die Zeigerichtung zu bestimmen. Aufgrund der Ungenauigkeit der Positionsbestimmung, kann die Bewegungsrichtung ebenfalls nur ungenau bestimmt werden. Dennoch ist es möglich festzustellen, ob der Nutzer sich auf das Ziel zubewegt, den Weg zurück geht oder stark von der Route abweicht. Es ist deshalb nötig, dass der Nutzer weiß, wo sich Orientierungskanten befinden, an denen er sich orientieren kann. Durch eine solche Ausrichtung können zuverlässige Richtungsanweisungen gegeben werden. Auf einer guten Route hat der Nutzer die Möglichkeit zumindest an Wegpunkten auf Orientierungskanten zurückzugreifen, um sich richtig auszurichten, freie Bereiche werden bei der Routenplanung möglichst gemieden und insbesondere nicht für Wegpunkte verwendet. Die Informationen, mit denen der Nutzer geführt wird, sind also die Richtungsangaben an den Wegpunkten, die Position von Orientierungskanten und Warnungen beim Verlassen der Route.

Darstellung der Führungsinformation

Um jemanden zu einem Navigationsziel zu führen, muss er wissen, in welche Richtung er laufen muss und wie weit das Ziel entfernt ist. Um bestätigen zu können, ob er angekommen ist, benötigt er noch zusätzliche Informationen, um feststellen zu können, wann er angekommen ist oder ob er vom Weg abgekommen ist. Wie können diese Navigationsinformationen vom System ausgegeben werden?

Visuell kann die Information bildlich als einfacher Richtungspfeil oder als Strecke mit Zielpunkt auf einer interaktiven Karte dargestellt werden. Diese Darstellung ist für Blinde nicht nutzbar.

Sprachlich können in einer Wegbeschreibung Richtungen und Entfernungen der Wegpunkte bis zum Ziel angesagt werden. Dadurch können auch komplexe Informationen wie „nach dem Imbissstand rechts bis zur Hinterkante des dritten Kaffeeautomaten...“ vermittelt werden. Allerdings dauert die Ausgabe einer solchen sprachlichen Anweisung relativ lange und ist nur schwer automatisch generierbar. Kürzere, nicht komplexe Ansagen sind auch denkbar, dass beispielsweise nur links oder rechts und der Winkel angesagt wird. Diese einfachen Angaben sind aber im Vergleich zu nichtverbalen Signalen relativ lang und können effektiver haptisch oder durch Töne vermittelt werden.

Akustisch können Führungsinformationen durch verschiedene akustische Parameter kodiert werden. Ein Überblick über die akustischen Parameter wird in Kapitel 3.5 gegeben. Der Nachteil der non-verbalen Signale ist, dass die Bedeutung der entstehenden Klänge meist erst erlernt werden müssen.

Haptisch können Informationen durch Vibrationsmuster übertragen werden. Ohne externe Geräte besitzt ein Smartphone meist nur einen einzelnen, nicht regelbaren Vibrationsmotor. Damit sind hauptsächlich „Morsecodes“ erzeugbar. Haptisch lässt sich damit nur ein Teil der akustischen Parameter verwenden.

Eine Audioausgabe von Informationen ist nicht nur für Blinde von besonderer Bedeutung, sondern bietet auch Sehenden Vorteile gegenüber der visuellen Wahrnehmung [Bre03]. So können akustische Reize auch passiv wahrgenommen werden. Das Gehör ist besonders empfindlich gegenüber minimalen Veränderungen gleichmäßiger oder konstanter Signale, die das Audiosignal in die aktive Wahrnehmung rücken lassen. Nachteilig ist bei der akustischen Wahrnehmung im Vergleich zur visuellen dagegen, dass Audiosignale nicht so einprägsam sind wie Bilder und Audiosignale, die durch das Übertragungsmedium Luft - beispielsweise bei Wind - stärker verfälscht sein können als visuelle Reize.

Am einfachsten erscheint es, Informationen durch Sprache auszudrücken. Doch sollte man sich auf Sprache beschränken? Einen Vergleich der Vor- und Nachteile von Sprache und non-verbalen Signalen wurde von Stephen Brewster durchgeführt [Bre03]. An diesen sind die folgenden Abwägungen angelehnt. Sprache hat den Vorteil, dass sie durch die große Menge an Begriffen komplexe Informationen wie komplizierte Beschreibungen besser übertragen können. Nichtsprachliche Darstellung bietet relativ wenig Möglichkeit komplexe Informationen zu übermitteln, da die Orthogonalität der akustischen Parameter gering ist, das heißt viele der verwendbaren Parameter beeinflussen sich gegenseitig und können damit nicht gleichzeitig für unterschiedliche Informationen genutzt werden. Ebenso bietet nichtsprachliche Akustik wenig Potential für die absolute Darstellung von Werten, wie sie beispielsweise durch Zahlen gegeben ist. Ein weiterer Vorteil von Sprache ist es, dass die Bedeutung von Wörtern und Sätzen bereits von Kindheit an bekannt ist. Es muss nicht erst die Semantik und Grammatik erlernt werden, um die Bedeutung der Zeichen zu verstehen.

Dem gegenüber können gut konzipierte Auditory Icons ohne Übersetzungsaufwand von einem größeren Kulturkreis verstanden werden. Sonifikation kann somit sogar universeller einsetzbar sein als Sprache. Ein weiterer Vorteil von Klängen ist, dass die gute zeitliche Auflösung des Gehörs besser eingesetzt werden kann, um Informationen sehr dicht zu präsentieren. So kann man durch eine Art Zeitraffer-Darstellung einen Überblick über große Datenmengen bekommen und dadurch manche Muster in Daten erkennen, die sonst nicht so sichtbar sind. Diese Technik ist besonders für kontinuierliche Daten gut geeignet. Non-verbale Signale eignen sich durch die Kürze und Geschwindigkeit der Information besonders für Aktionsanweisungen wie Richtungsänderungen. In der Desktopumgebung ist es bereits üblich, dass der Nutzer Feedback durch kurze Signale vermittelt bekommt. Besonders häufig wird dieses Mittel für Warnungen oder Fehlermeldungen verwendet, die Reaktionen vom Benutzer hervorrufen sollen. Daher ist es naheliegend solche Signale auch in einer aktiveren Umgebung für die Navigation zu verwenden, die häufige Reaktionen vom Nutzer erfordert.

Eine Alternative zur akustischen Ausgabe ist die haptische Ausgabe. Die Informationsdarstellung durch Vibration hat sehr ähnliche Eigenschaften wie die nicht-verbale Darstellung. Sie eignet sich besonders für kurze, nicht komplexe Nachrichten. Die einfachen taktilen Aktuatoren von Smartphones bieten dabei allerdings weniger Gestaltungsraum als deren akustisches Pendant, dem Lautsprecher bzw. Kopfhörer. Durch externe Erweiterungen des Smartphones wäre es möglich, beispielsweise über Bluetooth weitere taktile Aktuatoren zu verbinden. Solche Erweiterungen, die zum Beispiel als Gürtel oder Weste getragen werden [PB10, RRH11], würden einen großen Gestaltungsraum für Signale ermöglichen, sind allerdings bisher nicht als Off-the-shelf Geräte günstig verfügbar. Außerdem schränken sie den Nutzer ein, da er sie mit sich tragen und vor dem Gebrauch anziehen muss. Daher werden externe taktile Aktuatoren im weiteren nicht weiter betrachtet.

Zur Darstellung der Informationen wurde festgestellt, dass sich non-verbale akustische und haptische Signale besonders für Warnungen und einfache, häufige Informationen eignen. Auch größere Mengen simpler Informationen können akustisch gut dargestellt werden. Für komplexe Informationen muss allerdings auf die Sprache zurückgegriffen werden.

4.5 Plattform

Um die Kosten für das System gering zu halten, wird Off-the-Shelf Hardware verwendet werden. Smartphones stellen aufgrund ihrer großen Verbreitung eine günstige Lösung als Navigationsgerät für Fußgänger dar, da sie heutzutage standardmäßig mit einer Vielzahl von Sensoren ausgestattet werden. Für die akustische Ausgabe werden Kopfhörer benötigt.

Externe Geräusche sollten so wenig wie möglich blockiert werden. Dies funktioniert beispielsweise durch Knochenkopfhörer oder spezielle Kopfhörer, die nicht direkt am Außenohr anliegen. Knochenkopfhörer haben die Eigenschaft, dass Geräusche über die Knochen schneller übertragen werden als über die Luft. Diese führt zu einer Störung der binauralen Wahrnehmung und muss bei der Generierung des Raumklangs berücksichtigt werden [LMGK05]. Air Tube Kopfhörer sind Kopfhörer, die über dem Außenohr angebracht werden. Die Schallwellen werden über kleine Röhrchen direkt zum Ohr geleitet. Dadurch haben diese Art von Kopfhörern einen besseren Klang als Knochenkopfhörer und verdecken trotzdem relativ wenig Umgebungsgeräusche [LMGK05]. Da Knochenkopfhörer bereits günstig verfügbar sind, wird das User Interface auf Grundlage dieser entwickelt.

Als Plattform wird ein Smartphone mit Android Betriebssystem stellvertretend für aktuelle Smartphone Betriebssysteme verwendet. Unter Android stehen vier Schnittstellen zur Audioausgabe zur Verfügung:

Media Player Die Klasse `android.media.MediaPlayer` ist für die Wiedergabe langer Musikstücke und Videos gedacht. Sie stellt Möglichkeiten zur Decodierung und Wiedergabe von Audio- und Videodateien zur Verfügung.

Sound Pool Die Klasse `android.media.SoundPool` ist für kurze Sounds gedacht. Um die Verzögerung der Ausgabe gering zu halten, werden die Sounddateien im Speicher gehalten und dürfen daher nur kurz sein. Die Dateien dürfen in dekomprimierter Form höchstens eine Größe von etwa 1 Mb besitzen.

Audio Track Die Klasse `android.media.AudioTrack` ist eine Low Level API. Mit dieser Schnittstelle können 8 und 16 bit PCM Signale wiedergegeben werden. Sie bietet somit die höchste Gestaltungsfreiheit unter den Java Schnittstellen.

OpenSL ES Ist als Schnittstelle für native Programme gedacht, die das Native Development Toolkit (NDK) nutzen.

Jede der Schnittstellen hat gewisse Vor- und Nachteile und muss daher gezielt für den jeweiligen Einsatzzweck ausgewählt werden. Zu Beginn der Arbeit wurden die verschiedenen Audioschnittstellen mit anhand von Tutorials erstellten Testanwendungen untersucht, um die Fähigkeiten und Grenzen dieser auszuloten.

Der MediaPlayer hat den Nachteil, dass kein Stereo Panning des Signals möglich ist. Der Vorteil ist, dass es die Dekodierungen großer Sounddateien unterstützt. Es werden auch die Audioeffekte unterstützt, die von der Klasse `android.audiofx.*` bereitgestellt werden. Es handelt sich dabei um Reverb(Echo bzw. Hall), Virtualizer (Verstärkung des Stereoeffekts), Equalizer und BassBoost.

Sound Pool hat den Nachteil, dass keine Audioeffekte auf eine Soundpool Instanz(Session) angewendet werden können. Die Effekte können höchstens für die Gesamtausgabe `OutputMix` verwendet werden. Dafür unterstützt Sound Pool Stereo Panorama und hat relativ kurze Reaktionszeiten, da die Sounddateien dekomprimiert im Speicher gehalten werden. Weil sie im Speicher gehalten werden, dürfen die

Sounddateien nur recht klein sein.

AudioTrack bietet einerseits die Möglichkeit der Generierung von Signalen in Echtzeit, da der Audio Puffer algorithmisch befüllt werden kann. Andererseits können alle anderen Schnittstellen für die Dekodierung auf interne Funktionen des MediaPlayers zurückgreifen, bei der Verwendung von AudioTrack muss das Auslesen von Audiodateien selbst implementiert werden. Für Wav-Dateien ist dies noch relativ einfach zu bewerkstelligen, sie setzen sich nur aus einem Header mit Metainformationen und dem unkodierten PCM-Signal zusammen. Für andere Formate dagegen ist dies ein sehr großer Implementierungsaufwand.

OpenSL ES basiert bei Android 2.3 auf den gleichen Bibliotheken wie die anderen Schnittstellen und bringt damit keine Vorteile diesen gegenüber abgesehen von der Vermeidung des Garbage Collectors⁶. Die offizielle Spezifikation der Khronos Group⁷ wird nicht vollständig unterstützt, da es beispielsweise keine MIDI Synthese und keine 3D Szenebeschreibung unterstützt. Durch die Verwendung von C-Bibliotheken wie OpenAL Soft, die auf OpenSL ES aufsetzen, sind dennoch 3D Szenebeschreibungen möglich.⁸

Für die Ansteuerung des Vibrationsalarms stellt Android die Klasse `android.os.vibrator` als Schnittstelle zur Verfügung. Sie bietet die zwei Funktionen `vibrate(long[] pattern, int repeat)` und `vibrate(long milliseconds)` zur Erzeugung von Vibrationen. Es können damit einzelne Vibrationen bestimmter Länge und verschiedene Vibrationsmuster generiert werden. Die Möglichkeiten dieser einfachen aber mächtigen Schnittstelle werden in der Haptic Effect Preview der Immersion Corporation demonstriert, die in Google Play kostenlos heruntergeladen werden kann. Die Firma stellt dazu auch ein Self Development Kit inklusive „Universal Haptic Layer“ zur Verfügung, mit dem die entwickelten Vibrationseffekte genutzt werden können.⁹

Die implementierten Vibrationsmuster sind unter anderem einfache Signale mit verschiedenen Intensitäten und Dauern, ansteigende oder absteigende Intensitäten, pulsierende Signale oder Kollisionseffekte und Explosionseffekte. Des Weiteren können damit dauerhafte haptische Effekte simuliert werden wie Schwingungen von Motoren und das Überstreichen von Texturen mit unterschiedlicher Rauigkeit. Die implementierten Effekte können verschiedene Intensitäten besitzen, deren Unterscheidbarkeit müsste jedoch genauer untersucht werden. Nach nicht repräsentativen Selbsttests wird angenommen, dass die Wahrnehmung der Intensitäten schwierig ist. Hält man das Smartphone in der Hand, kann man zwar Unterschiede deutlich spüren, es wird aber angezweifelt, dass in einer realen Umgebung die Feststellung der Intensität ohne Referenzvibration gut möglich ist. Wechsel der Intensitäten innerhalb des Signals und Dauer der Vibrationen dürften in gewissen Rahmen möglich sein. Nachteilig an der taktilen Führung ist, dass man das Gerät in der Hand halten muss, um die Signale zu spüren. Wenn man das Gerät in der Hosentasche oder gar im Rucksack trägt, wird eine Vibration nur schwerlich spürbar sein.

4.6 Nicht funktionale Anforderungen

Für eine Benutzungsschnittstelle ist die wohl wichtigste nicht funktionale Eigenschaft die Gebrauchstauglichkeit. Um eine Benutzungsschnittstelle gebrauchstauglich zu gestalten, können die sieben Grundsätze der Dialoggestaltung der Norm EN ISO 9241-110:2006 herangezogen werden [ISOa].

Aufgabenangemessenheit

„Ein interaktives System ist aufgabenangemessen, wenn es den Benutzer unterstützt, seine Arbeitsaufgabe zu erledigen, d. h., wenn Funktionalität und Dialog auf den cha-

⁶URL: <http://mobilepearls.com/labs/native-android-api/opensles/index.html> Stand Januar 2013

⁷URL: <https://www.khronos.org/opengles/> Stand: Januar 2013

⁸URL: <http://pietlot.org/2010/12/14/openal-on-android/> Stand: Januar 2013

⁹URL: http://www2.immersion.com/developers/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=110&Itemid=503
Stand: Januar 2013

rakteristischen Eigenschaften der Arbeitsaufgabe basieren, anstatt auf der zur Aufgabenerledigung eingesetzten Technologie.“

Der Dialog mit dem System soll darauf ausgelegt sein, dass die Aufgaben des Anwenders effizient und effektiv erledigt werden können. Dafür ist es einerseits wichtig dem Anwender nur die Informationen zu präsentieren, die er für die Aufgabe benötigt, andererseits müssen alle Informationen angezeigt werden, die für die Lösung der Aufgabe benötigt werden. Auch die Nutzereingaben sollten auf diejenigen reduziert werden, die für die Aufgabe relevant sind.

Selbstbeschreibungsfähigkeit

„Ein Dialog ist in dem Maße selbstbeschreibungsfähig, in dem für den Benutzer zu jeder Zeit offensichtlich ist, in welchem Dialog, an welcher Stelle im Dialog er sich befindet, welche Handlungen unternommen werden können und wie diese ausgeführt werden können.“

Während des Dialogs sollte der Nutzer stets wissen, was die Ausgaben des Systems bedeuten und welche Eingaben von ihm erwartet werden. Hilfsfunktionen sollten in den Dialog möglichst so integriert werden, dass externe Quellen, die den Dialog unterbrechen, nicht nötig sind.

Erwartungskonformität

„Ein Dialog ist erwartungskonform, wenn er den aus dem Nutzungskontext heraus vorhersehbaren Benutzerbelangen sowie allgemein anerkannten Konventionen entspricht.“

Der Dialog sollte intuitiv gestaltet sein. Dafür sollte unter anderem ein Vokabular verwendet werden, das dem Nutzer bekannt ist. Das Dialogverhalten und Darstellungen von Informationen sollten konsistent sein und Eingaben sollten gewohnte und unmittelbare Rückmeldungen hervorrufen.

Lernförderlichkeit

„Ein Dialog ist lernförderlich, wenn er den Benutzer beim Erlernen der Nutzung des interaktiven Systems unterstützt und anleitet.“

Dem Nutzer sollten die zugrundeliegenden Konzepte und Regeln erklärt werden. Darunter fallen in diesem Fall insbesondere die Grundprinzipien der Soundmuster. Konfigurationen des Systems sollten nicht nötig, aber möglich sein, um Erstbenutzern den Einstieg zu vereinfachen und gleichzeitig erfahrenen Anwendern die Möglichkeit zu bieten, den Dialog an die eigenen Erfordernisse anzupassen.

Steuerbarkeit

„Ein Dialog ist steuerbar, wenn der Benutzer in der Lage ist, den Dialogablauf zu starten sowie seine Richtung und Geschwindigkeit zu beeinflussen, bis das Ziel erreicht ist.“

Die Interaktionsgeschwindigkeit sollte vom Nutzer bestimmt werden. Der Dialog sollte unterbrechbar sein, nach einer Unterbrechung sollte es dem Anwender möglich sein, den Dialog an der gewünschten Stelle wieder aufzunehmen. Außerdem sollten beliebige verfügbare Ein- und Ausgabemedien zur Steuerung nutzbar sein.

Fehlertoleranz

„Ein Dialog ist fehlertolerant, wenn das beabsichtigte Arbeitsergebnis trotz erkennbar fehlerhafter Eingaben entweder mit keinem oder mit minimalem Korrekturaufwand seitens des Benutzers erreicht werden kann. Fehlertoleranz wird mit den Mitteln erreicht: Fehlererkennung und -vermeidung (Schadensbegrenzung); Fehlerkorrektur oder Fehlermanagement, um mit Fehlern umzugehen, die sich ereignen.“

Auch mit Eingabefehlern sollte das Aufgabziel erreichbar sein. Bei der Navigation kann die Position des Benutzers als Eingabe gesehen werden, daher sollte bei Positionsabweichungen ein ent-

sprechendes Fehlermanagement geeignete Systemreaktionen erzeugen.

Individualisierbarkeit

„Ein Dialog ist individualisierbar, wenn Benutzer die Mensch-System-Interaktion und die Darstellung von Informationen ändern können, um diese an ihre individuellen Fähigkeiten und Bedürfnisse anzupassen.“

Die Präsentation der Informationen sollte an die Zielgruppe angepasst sein, gegebenenfalls sollte der Anwender den Dialog an seine Bedürfnisse anpassen können.

Diese Grundsätze werden als Anforderungen an die Gestaltung des Systems verstanden. Aufgrund der Komplexität der Aufgabe, sich ohne visuelle Wahrnehmung zu bewegen, wird besonderer Wert darauf gelegt, dass die Anwendung wenig Konzentration, Wahrnehmungs- und Lernaufwand erfordert. Dazu sollte insbesondere die Interaktion mit dem Gerät auf ein Minimum reduziert werden, da diese Interaktion viel Aufmerksamkeit benötigt. Außerdem wird bei der Gestaltung des Systems auf umständliche und kostenintensive Zusatzgeräte verzichtet.

4.7 Funktionale Anforderungen

Die Navigation besitzt zwei Aufgaben: Die Erkundung und die dynamische Zielführung. Daher gibt es Funktionen, die jederzeit aufgerufen werden können und dynamische Funktionen, die während der Zielführung aktiv sind. Zur automatischen Ausführung der Letzteren, überwacht das System die Position des Nutzers und reagiert situationsabhängig darauf, bis er sein Ziel erreicht hat.

4.7.1 Erkundungsfunktionen

Zielauswahl

Die Navigation beginnt damit, dass ein Ziel festgelegt werden muss. Dafür muss es eine Suchfunktion geben, die einen bei der Wahl des Ziels unterstützt, indem beispielsweise mögliche Ziele vorgeschlagen werden.

Routenüberblick

Nach der Zieleingabe wird die Route vom System berechnet. Es ist notwendig, dass ein Routenüberblick sehr kurz gehalten ist. Zum einen, damit sich der Benutzer nicht zu viel merken muss, zum anderen damit der Benutzer nicht lange stehen bleiben muss. Dies kann durch Begrenzung des Sichthorizonts, Einschränkung der wiedergegebenen Informationen und durch eine zeitliche Verdichtung der Informationen realisiert werden. Bei der Begrenzung der Informationen und der zeitlichen Verdichtung sollte zumindest das Routenmuster erkennbar bleiben.

Überblick über die Umgebung

Eine Funktion, die nicht direkt für die Führung relevant ist, ist der Überblick über die Umgebung. Dennoch kann sie bei der Orientierung hilfreich sein. Wichtige Informationen sind dabei der Name des aktuellen Bereichs sowie die Form und Größe des aktuellen Raums. Hilfreich können auch Informationen über die Lage von Gefahren und Landmarken wie Türen sein. Diese Informationen sollten sehr kurz und prägnant gehalten werden.

4.7.2 Führungsfunktionen

Bei der Zielführung wird der Nutzer von Wegpunkt zu Wegpunkt geführt. An einem Wegpunkt wird er über die Richtungsänderung informiert. Während des Laufens werden ihm situationsabhängig weitere Informationen gegeben, wie Warnungen vor Gefahren, Orientierungsmöglichkeiten, Bereichswechsel oder Warnung beim Verbindungsabbruch. Sinnvoll ist auch eine regelmäßiges Entfernungssignal.

Orientierungsmöglichkeiten

Wenn geeignete Orientierungspunkte passiert werden, sollte dies dem Nutzer mitgeteilt werden. Von besonderer Bedeutung sind dabei Orientierungskanten. Wenn die Route beispielsweise entlang einer nicht unterbrochenen Wand führt oder entlang eines Blindenleitstreifen, sollte dies dem Blinden mitgeteilt werden. Dadurch können Wegabweichung vermieden werden.

Bereichswechsel

Bereichswechsel sind ebenfalls sinnvolle Orientierungspunkte. Soll eine Tür durchquert oder das Stockwerk gewechselt werden, erfordert dies die aktive Aufmerksamkeit des Benutzers. Dabei kann es sein, dass er beispielsweise bei einer Rolltreppe das Smartphone einsteckt, um für die aktuelle Aktion die Hände frei zu haben. Nach der Durchführung kann der Nutzer die Navigation wieder aufnehmen.

Entfernungsangabe

Entfernungsangaben zur Aufwandsschätzung werden von vielen Blinden als hilfreich empfunden[MSW11]. Bei langen Streckenabschnitten gibt eine regelmäßige Entfernungsangabe dem Anwender Sicherheit, dass das System noch aktiv ist und seine Position überwacht.

Warnung bei Verlassen der Route

Verlässt der Nutzer die Route, so wird ein Warnsignal ausgegeben. Durch das Signal sollte er sich aufgefordert fühlen, seinen Kurs zu korrigieren. Es ist sinnvoll ihm dabei einen Hinweis zu geben, was er machen muss, um auf die Strecke zurückzukehren. Es ist darauf zu achten, dass die Meldung nicht zu häufig ausgegeben wird, da es sein kann, dass der Benutzer absichtlich die Route verlässt, um beispielsweise Hindernisse zu umgehen.

Warnung vor Gefahren

Nähert sich der Nutzer einer bekannten Gefahrenstelle, sollte er darauf hingewiesen werden. Dies erfolgt durch ein Gefahrensignal, das ausgegeben wird, wenn sich eine Gefahr im Aktionsradius des Nutzers befindet. Dabei ist darauf zu achten, dass die Gefahren relevant sind, um den Nutzer nicht mit unnötigen Warnungen zu verunsichern. Es kann sinnvoll sein, weitere Details zur Gefahr zu vermitteln.

Warnung bei Fehlern der Positionsbestimmung

Wenn die Position des Nutzers über einen gewissen Zeitraum hinweg nicht mehr bestimmt werden kann, so muss der Nutzer darüber informiert werden. Wenn die Verbindung wieder verfügbar ist, sollte dies für den Benutzer bemerkbar sein, indem das Signal nicht mehr ausgegeben und die Navigation fortgesetzt wird.

Erreichen des Ziels

Hat der Nutzer schließlich das Ziel erreicht, so wird ihm das durch das System signalisiert.

4.8 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurden die Anforderungen und Abgrenzungen der Benutzungsschnittstelle erarbeitet. Es wurde analysiert, wie eine Positionsbestimmung realisierbar ist, wie die Route geplant werden kann und welche Art von Zielführung unter diesen Voraussetzungen für Blinde geeignet ist. Danach wurden die Eigenschaften der Plattform betrachtet, wobei die Schnittstellen des Betriebssystems Android stellvertretend für eine Smartphone-Umgebungen genauer untersucht wurde. Abschließend wurden nicht-funktionale und funktionale Anforderungen eines Navigationssystems für Blinde zusammengestellt.

5 Richtungssignale

Für die Signalisierung von Richtungen kommen verschiedene Ausgabemuster in Betracht. Daher ist es notwendig festzustellen, wie Richtungen dem Nutzer am besten mitgeteilt werden können. Im Folgenden werden Kriterien für ein passendes Muster aufgestellt, die Auswahl wird eingegrenzt und abschließend werden die in Frage kommenden Muster durch einen Labortest untersucht.

5.1 Kriterien für geeignete Muster

In der Norm DIN ISO 9241-12 zur Informationsdarstellung werden charakteristische Eigenschaften dargestellter Information vermittelt. Diese Richtlinien beziehen sich auf die visuelle Darstellung von Informationen und wie deren Wahrnehmung gebrauchstauglich gestaltet werden kann.

„Charakteristische Eigenschaften dargestellter Information (. . .)

Klarheit (der Informationsinhalt wird schnell und genau vermittelt);

Unterscheidbarkeit (die angezeigte Information kann genau unterschieden werden);

Kompaktheit (den Benutzern wird nur jene Information gegeben, die für das Erledigen der Aufgabe notwendig ist);

Konsistenz (gleiche Information wird innerhalb der Anwendung entsprechend den Erwartungen des Benutzers stets auf gleiche Art dargestellt);

Erkennbarkeit (die Aufmerksamkeit des Benutzers wird zur benötigten Information gelenkt)

Lesbarkeit (die Information ist leicht zu lesen)

Verständlichkeit (die Bedeutung ist leicht verständlich, eindeutig, interpretierbar und erkennbar).“ [ISOc]

Diese Richtlinien beziehen sich auf visuelle Darstellungen, sie sind jedoch so allgemein gehalten, dass sie auf akustische Ausgaben übertragen werden können. Dafür muss „Lesbarkeit“ als „Hörbarkeit“ interpretiert werden. Hörbarkeit bezieht sich darauf, dass die Information leicht wahrnehmbar ist. Die Faktoren „Kompaktheit“, „Konsistenz“ und „Erkennbarkeit“ fließen wie die anderen Richtlinien in die Entwicklung der Signale mit ein, werden aber beim Labortest nicht gezielt untersucht. Aus den restlichen Faktoren wurden folgenden Anforderungen entwickelt, die dem Kontext angepasst sind:

Eindeutig identifizierbar: Die Informationen müssen klar vermittelt werden. Dazu müssen die Ausgabemuster gut voneinander unterscheidbar sein. Insbesondere Parameterwerte müssen ausreichend erkennbar und unterscheidbar sein.

Von der Umgebung unterscheidbar: Die Signale des Systems müssen deutlich von Umgebungsgläuschen unterscheidbar sein.

Geringe Maskierungseffekte: Die Maskierung von Umgebungsgläuschen sollte gering sein, damit andere Soundmuster gleichzeitig hörbar sind. Dies kann u.a. durch eine kurze, kompakte Darstellung gewährleistet werden.

Neben diesen Ausscheidungskriterien gibt es noch weitere Kriterien, durch die sich ein gutes Signalmuster auszeichnet:

Leicht erlernbar: Durch eine flache Lernkurve wird neuen Nutzern der Einstieg leicht gemacht und die Akzeptanz des Produkts wird verbessert. Dazu gehört insbesondere, dass Polaritäten so gestaltet werden, wie sie vom Nutzer erwartet werden.

Leicht verständlich: Das Verstehen der Signalmuster sollte ohne große geistige Anstrengung möglich sein. Wenn ein Nutzer erst lange überlegen muss, was ein Signal bedeutet, lenkt dies stark von der Umgebung ab und es kann sein, dass dadurch Gefahren nicht erkannt werden.

5.2 Auswahl des Richtungssignals

Zur Generierung der Signale wird die bereits besprochene Wavetablesynthese verwendet. Die Parametrisierung kann vorproduziert oder erst auf dem Gerät angewendet werden und ist damit weitgehend unabhängig von der mobilen Plattform. Für diese Synthese geht man von einem Basissignal aus, das für unterschiedliche Richtungen entsprechend parametrisiert wird. Es müssen somit vielversprechende Basissignale und Parametrisierungen anhand der aufgestellten Kriterien ausgewählt werden, die danach in einem Laborversuch evaluiert werden.

Umgebungsgeräusche sind als Basissignal ungeeignet für die Richtungsangabe, weil sie durch ihre Ähnlichkeit zu anderen Umgebungsgeräuschen nicht so gut von der Umgebung unterscheidbar sind. Musikinstrumente und Synthesizergeräusche dagegen sind klar von der Umgebung unterscheidbar. Die Musikinstrumente können recht einfach durch einen MIDI Synthesizer generiert werden. Allerdings müssen die Samples vorproduziert werden, da die Android Plattform keine geeignete Schnittstelle zur Echtzeitgenerierung dieser Klänge bietet. Als Musikinstrumente eignen sich besonders Blasinstrumente wie eine Klarinette, da diese über einen relativ gleichmäßigen Amplitudenverlauf verfügen und somit vor allem die Länge des Tons relativ gut hörbar ist. Instrumente, die durch Zupfen, Anschlagen oder Streichen zum Klingen gebracht werden, besitzen dagegen eine viel stärkere Klangdynamik. Synthesizerklänge haben den Vorteil, dass sie durch mathematische Algorithmen direkt im Programmcode erzeugt werden können. Dafür wird ein pulscodemoduliertes Signal als 16 Bit Zahlenfolge in einen Puffer geschrieben und kann direkt abgespielt werden. Ein solches Signal sollte ein geeignetes Frequenzspektrum besitzen, damit es als angenehm empfunden wird. Eine Dreieckswelle ist ein Signal, das sich relativ einfach generieren lässt und dabei nicht so unangenehm ist wie eine Sinuswelle oder eine Sägezahnwelle.

Zur parametrischen Darstellung von Richtungen eignen sich die akustische Parameter, die in Kapitel 3.7 als geeignet für eine metrische Skala beschrieben wurden. Diese sind Lage, Tonhöhe und Dauer. Lautstärke und Tempo werden nicht berücksichtigt, da es bei einem Fußgängernavigationssystem wichtig ist, dass der Nutzer die Lautstärke für seine Anforderungen adaptieren kann und bei schwankender Umgebungslautstärke Probleme bei der Einschätzung abzusehen sind. Das Tempo wird nicht weiter untersucht, da alle Signale kurz sein sollten und das Tempo eine längere Signalfolge benötigt. Somit ergeben sich folgende drei Signalmodulationen für die Darstellung von Richtungen:

Lage Für die Richtungsbeschreibung durch Raumklang bietet sich die interaurale Pegeldifferenz an. Dieses Stereopanorama lässt sich leicht durch ein Panning zwischen zwei Audioquellen realisieren.

Dauer Die Richtung wird bei dieser Modulation durch zwei nacheinander gespielte Klänge dargestellt. Der erste Klang steht für links, der zweite für rechts. Je weiter die Abweichung in eine Richtung ist, desto länger wird der entsprechende Klang gespielt. Folglich steht das Signal lang-kurz für links, kurz-kurz für geradeaus und kurz-lang für rechts. Ein längeres Signal erregt mehr Aufmerksamkeit beim Probanden, was bei einer Richtungsänderung sinnvoll ist.

Tonhöhe Die Richtung wird ebenfalls durch die Modulation zweier nacheinander abgespielter Klänge dargestellt. Der erste Klang steht für die Abweichung nach links, der zweite für die Abweichung nach rechts. Je größer das Intervall zwischen Klang und Grundton, desto größer ist die Rich-

tungsänderung. Die Richtungsabweichung von geradeaus nach vorne wird durch einen höheren Ton signalisiert, dadurch wird die Aufmerksamkeit stärker erregt, als wenn keine Richtungsänderung vom Nutzer erwartet wird. Ebenfalls ist es gut erkennbar, wenn keine Richtungsänderung gewünscht ist, denn dies wird durch zwei gleiche Töne signalisiert.

Für die Richtungsdarstellung durch Vibrationssignale werden die Vibrationsmuster des taktilen Kompasses verwendet. Dieser wurde bereits eingehend untersucht [PPHB11] und hat sich in der Praxis bewährt [PPHB12]. Beim taktilen Kompass wird der Parameter Dauer auf die Vibration als Basissignal angewendet. Links wird als eine 500 ms und eine 100 ms Vibration dargestellt, geradeaus als zwei 100 ms Vibrationen und rechts als eine 100 ms und eine 500 ms Vibration. Die Richtungen dazwischen werden in gleichmäßigen 200 ms (bzw. 100 ms) Abständen eingeteilt. Die sprachliche Darstellung mit Richtungsangabe in Gradzahlen wird ebenfalls untersucht, um die nicht sprachlichen Ausgaben damit vergleichen zu können.

In Tabelle 5.1 sind nochmal alle Basissignale und Parameter zusammengefasst, die experimentell auf ihre Eignung überprüft werden. Die darin referenzierten sechs Klangbeispiele können im Ordner mit den Soundbeispielen auf der beiliegenden CD gefunden werden. Erstellt wurden sämtliche Soundbeispiele in dieser Arbeit mit dem Linux Multimedia Studio ¹. Für die Erzeugung der Synthesizer Klänge wurde der enthaltene Synthesizer „BitInvader“ verwendet, für die Generierung der MIDI-Klänge wurde die Sound-Font Sammlung „GeneralUser GS“ von S. Christian Collins² genutzt. Zur Nachbearbeitung der Sounds wie schneiden und auf gleiche Lautstärke normalisieren wurde die Software Audacity³ verwendet.

	Klarinette (Midi Ch. 71)	Synthesizer Dreieckwelle	Vibration	Synthetische Stimme
Panning	<i>♯Eva1</i>	<i>♯Eva4</i>	-	-
Tonhöhe	<i>♯Eva2</i>	<i>♯Eva5</i>	-	-
Dauer	<i>♯Eva3</i>	<i>♯Eva6</i>	Modus 7	-
Sprache	-	-	-	Modus 8

Tabelle 5.1: Auflistung der verwendeten Basissignale und Parameter

5.3 Gütekriterien von empirischen Experimenten

In einem Labortest soll festgestellt werden, wie die Führung eines Benutzers durch Richtungsangaben am besten realisiert werden kann. Dafür muss überprüft werden, wie gut die Signale unter starker kognitiver Belastung verstanden werden.

Um die Qualität von empirisch erhobenen Daten zu gewährleisten, müssen gewisse Gütekriterien erfüllt werden [Hen10]. Diese Kriterien ermöglichen eine Vergleichbarkeit der statistischen Auswertungen. Nur wenn Objektivität, Reliabilität und Validität innerhalb gewisser Bandbreiten berücksichtigt werden, können aus einem kontrollierten Experiment verlässliche Schlussfolgerungen gezogen werden:

Objektivität: Ein Versuch darf in seiner Durchführung, Auswertung und Interpretation nicht vom Versuchsleiter beeinflusst sein. Wird der gleiche Versuch von einer anderen Personen durchgeführt, muss er zu den gleichen Resultaten führen.

Reliabilität: Eine Testmethode ist zuverlässig, wenn identische Wiederholungen eines Versuchs zum gleichen Ergebnis führen. Die Reliabilität eines Versuches kann durch wiederholte Messungen (Retest-Methode) oder durch andere, gleichwertige Messungen (Paralleltest-Methode) verbessert

¹URL: <http://lmms.sourceforge.net/>

²URL: <http://www.schristiancollins.com/>

³URL: <http://audacity.sourceforge.net/>

werden.

Validität: Ein Versuch ist nur dann gültig, wenn er das untersucht, was er untersuchen soll. Dazu müssen zum einen die gemessenen Indikatoren geeignet sein, um Rückschlüsse auf die empirischen Kriterien zu ziehen. Zum anderen müssen Störeinflüsse minimal sein (interne Validität) und die Erhebungssituation möglichst realistisch sein (externe Validität), um allgemeingültige Schlussfolgerungen ziehen zu können.

5.4 Durchführung

An dem Versuch nahmen 7 männliche und 6 weibliche Teilnehmer ohne Sehbehinderung teil. Die Probanden waren zwischen 22 und 28 Jahren alt. 4 der 13 Teilnehmer benutzten nicht regelmäßig Geräte mit Touch-Display, 4 Personen spielen regelmäßig ein Musikinstrument. Durchgeführt wurde der Test an drei Tagen im Usability-Labor der TU Dresden. Der Test wurde einzeln mit den Probanden durchgeführt und dauert etwa eine Stunde pro Person.

Während des Versuches hören die Probanden über Knochenkopfhörer verschiedene akustischen Signale. Die Kopfhörer sind an ein Smartphone angeschlossen, auf dem ein Kreis mit verschiedenen Richtungseinteilungen angezeigt wird. Sobald der Nutzer denkt eine Richtung erkannt zu haben, wählt er diese auf dem Smartphone. Dabei wird die Zeit und die Richtigkeit der Angaben gemessen und in einer Log-Datei gespeichert. Gleichzeitig hören die Probanden Hintergrundgeräusche aus einem Lautsprecher und müssen zusätzliche Belastungsaufgaben lösen.

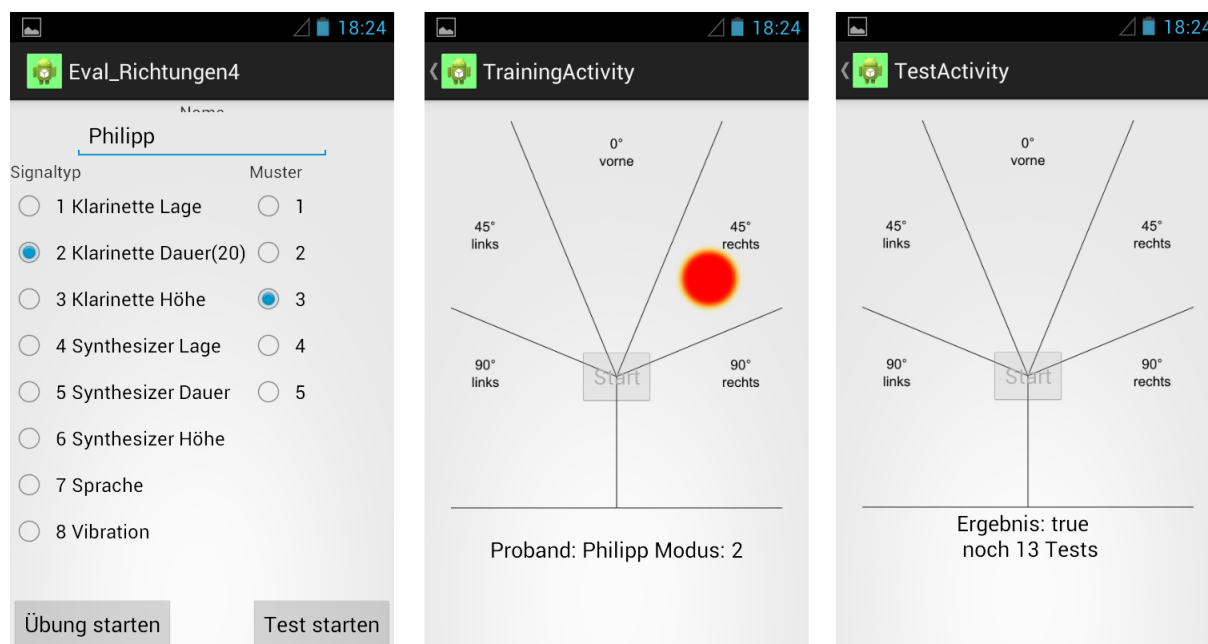


Abbildung 5.1: Screenshots der Versuchsanwendung (von links nach rechts: Hauptmenü, Trainingsmodus, Testmodus)

Als **Versuchsgerät** stand eine Google Nexus S mit Aftershokz Bone Conduction Sport Headphones zu Verfügung. Es wurde eine Android Anwendung implementiert, die aus einem Hauptmenü, einem Übungs- und einem Testmodus besteht. Im Hauptmenü (siehe Abb. 5.1 links) wird ein Name für den Probanden, der Signalmodus und die Reihenfolge der Winkel im Test festgelegt. Durch zwei Buttons kann die Übung und der Test gestartet werden.

Wird der Übungsmodus (siehe Abb. 5.1 mittig) gestartet, werden dem Nutzer zunächst sämtliche Klänge einmal vorgespielt und gleichzeitig visuell die entsprechenden Bereiche auf dem Display angezeigt.

Wenn er anschließend auf den Start-Button in der Mitte des Display drückt, wird ihm ein Signal vorgespielt und er muss den Richtungswinkel auf dem Touch-Display wählen, den er verstanden hat. Ob der vorgespielte und der eingegebene Winkel übereinstimmen und wie lange für die Auswahl benötigt wurde, wird im unteren Bildschirmbereich dargestellt. Diese Übung kann beliebig oft wiederholt werden, bis der Proband denkt das Signal verinnerlicht zu haben. Der vorgespielte Winkel wird zufällig bestimmt, außer der Proband hat beim letzten Versuch nicht den richtigen Winkel gewählt, dann wird beim nächsten Start das Signal wiederholt.

Der Testmodus (siehe Abb. 5.1 rechts) startet mit der Anzeige zur Auswahl der Richtungswinkel in dessen Mitte sich der Startbutton befindet. Während des Testes klickt der Nutzer abwechselnd auf Start und anschließend auf die signalisierte Richtung. Die Auswahl der Richtungen wird durch ein lateinisches Quadrat mit fünf Reihen und Spalten bestimmt, wodurch die Reihenfolge zweier aufeinanderfolgender Richtungen gleichmäßig verteilt wird. Mit welcher Spalte der Matrix der Test beginnt, wird durch die Nummer des Signalmodus und durch die Auswahl „Muster“ im Hauptmenü bestimmt. Wenn alle 25 Richtungen gemessen wurden, werden die Ergebnisse in einer csv-Datei auf der SD-Karte gespeichert und das Programm kehrt zum Hauptmenü zurück. Für jeden Modus wird eine Datei geschrieben. In der ersten Spalte wird der Nutzernamen geschrieben, die zweite Spalte enthält die Dauer zwischen den beiden Klicks für Start und Auswahl, die dritte enthält diese Dauer abzüglich der Signaldauer. Die vierte Spalte gibt Aufschluss über den Richtungswinkel des Signals und die fünfte über den vom Nutzer gewählten Richtungswinkel.

Für einen Zusatztest wurde eine zweite Anwendung implementiert, die analog zur ersten entwickelt wurde. Sie unterscheidet sich lediglich in der Größe und Anzahl der untersuchten Winkel, anstatt zwischen fünf 45° Winkel wird zwischen neun $22,5^\circ$ Winkel unterschieden.

Ablauf

Vor dem Versuch gibt es eine Einführung über den allgemeinen Ablauf des Tests, die Benutzung des Versuchsgeräts und die verschiedenen Ausgabemuster. Anschließend werden vom Probanden alle Signalmodi in zufälliger Reihenfolge bearbeitet. Für jeden Modus hat der Proband Zeit zum Üben, dann werden die Messungen durchgeführt und abschließend die entsprechenden Fragen des Fragebogens ausgefüllt.

Im Übungsmodus bekommt der Versuchsteilnehmer zunächst alle Richtungen des Klangmusters vorgespielt und trainiert die Eingabe etwa 5 Minuten lang. Der Proband hat dabei die Gelegenheit, die Lautstärke des Signals seinen Hörgewohnheiten entsprechend einzustellen. Wenn der Proband denkt, dass er den Signalmodus verinnerlicht hat, beginnt der entsprechende Test. Für jede der Parameter-Basissignal-Kombinationen werden dem Probanden in einem Durchlauf fünfmal alle 5 möglichen Richtungen (180° in 45° Schritten) in zufälliger Reihenfolge vorgespielt.

Um die zusätzliche Belastung des Probanden bei der echten Navigation zu simulieren wird ihm während dem gesamten Test zum einen ein Hintergrundgeräusch in Dauerschleife vorgespielt (siehe *NEval10*). Das etwa zehnmündige Geräusch wurde im Foyer der Sächsischen Landes- und Universitätsbibliothek aufgezeichnet und kann somit als typisches Hintergrundgeräusch eines stark belebten Universitätsgebäudes gesehen werden. Die zweite Belastung ist ein Konzentrationstest, durch den die kognitive Belastung eines Gesprächs während der Navigation simuliert wird. Dem Probanden wird gleichzeitig zu dem eigentlichen Test einer von neun Texten vorgelesen und er muss sich das Vorkommen und die Reihenfolge der Schlüsselworte „links“, „rechts“



Abbildung 5.2: Proband bei der Evaluation

und „geradeaus“ merken. Nach dem Test notiert er die im Text vorgekommenen Worte in der passenden Reihenfolge auf dem Fragebogen. Dabei werden bewusst Einschränkungen bei der Objektivität des Tests in Kauf genommen und der Text vom Versuchsleiter vorgetragen, anstatt eine Aufzeichnung abzuspielen, da durch die persönliche Anwesenheit einer anderen Person eine andere Ablenkung zu erwarten ist als durch das Abspielen einer Aufzeichnung. Außerdem schätzt der Proband gleich nach jedem Durchgang für das jeweilige Signalmuster die Unterscheidbarkeit der Parameter untereinander, die Unterscheidbarkeit des Signals vom Hintergrund und die geistige Belastung zur Erfüllung der Aufgabe. Damit ist gewährleistet, dass er die Signalmodi nicht verwechselt und sich noch gut daran erinnern kann.

Wurden alle Signalmodi getestet, bestimmt der Versuchsleiter den nichtsprachlichen Signalmodus mit der besten Erfolgsquote. Für diesen Modus wird im Zusatztest untersucht, ob sich das Signal für die Angabe von $22,5^\circ$ Winkeln eignet. Der Sprachmodus wird für den Zusatztest außen vor gelassen, da sprachliche Winkelangaben eindeutig sind und damit kein Informationsgewinn erwartet wird. Nach der Übungsphase beginnt der Zusatztest, bei dem der Proband dreimal alle 9 Richtungen bestimmen soll. Abschließend beantwortet der Proband die restlichen Fragen des Fragebogens.

5.5 Erwartungen

Mit dem Labortest soll festgestellt werden, welches Richtungssignal am besten geeignet ist, um einen Nutzer zu führen. Dafür werden die ausgewählten Signale anhand der vorgestellten Kriterien überprüft. Die abhängigen Variablen des Versuchs sind der Anteil richtiger Antworten bei der Winkelbestimmung, die Dauer zwischen drücken des Start-Button und drücken der verstandenen Richtung und die Dauer zwischen Ende der Signalausgabe und drücken der verstandenen Richtung. Als zusätzliche Indikatoren wurden verschiedene Einschätzungen der Probanden in einem Fragebogen abgefragt.

Wie eindeutig die Signale identifizierbar sind, soll festgestellt werden, indem die Fehlerquoten bei der Identifizierung verglichen werden. Dabei werden die Ergebnisse der jeweiligen Signalmodi unter verschiedenen Winkelgenauigkeiten (90° , 45° und $22,5^\circ$) gegenüber gestellt. Des Weiteren können die Ergebnisse mit den Ergebnissen der Belastungsaufgabe gewichtet werden, um deutlicher zu zeigen, wie gut die Erkennung unter Belastung ist. Außerdem werden die Probanden gefragt, welche Signalmodi sie am besten unterscheiden konnten.

Wie leicht verständlich ein Signal ist, das heißt wie groß die geistige Anstrengung zur Dekodierung des Signals ist, soll durch die Dauer gemessen werden, die die Probanden benötigen, um die Richtung zu wählen, nachdem sie das Signal gehört haben. Dabei ist ein Lerneffekt zu erwarten, der im Test nicht berücksichtigt wird. Die Probanden üben die Interaktion nur wenige Minuten. Bei häufiger und längerer Benutzung sollten sich die Ergebnisse deutlich verbessern lassen. Einen weiteren Hinweis auf die geistige Anstrengung eines Modus soll die Nachbefragung liefern.

Wie groß die Maskierungseffekte der Signale sind, ist hauptsächlich von der Dauer der Signale abhängig. Die Ergebnisse des Belastungstests könnten Aufschluss darüber liefern, wie viel von der Zusatzaufgabe verstanden oder überdeckt wird. Vibration ist von der akustischen Maskierung natürlich nicht betroffen, da keine akustischen Signale ausgegeben werden. Der Vergleich zur Vibration kann dennoch zeigen, ob Belastungstest nicht eher die Aufmerksamkeit des Nutzers als die akustische Maskierung darstellt. Wie gut die Signale von Umgebungsgeräuschen unterscheidbar sind, wie intuitiv und angenehm sie sind, soll durch die Nachbefragung festgestellt werden. Unter anderem wird die Intuitivität durch die Untersuchung der erwarteten Polarität bewertet.

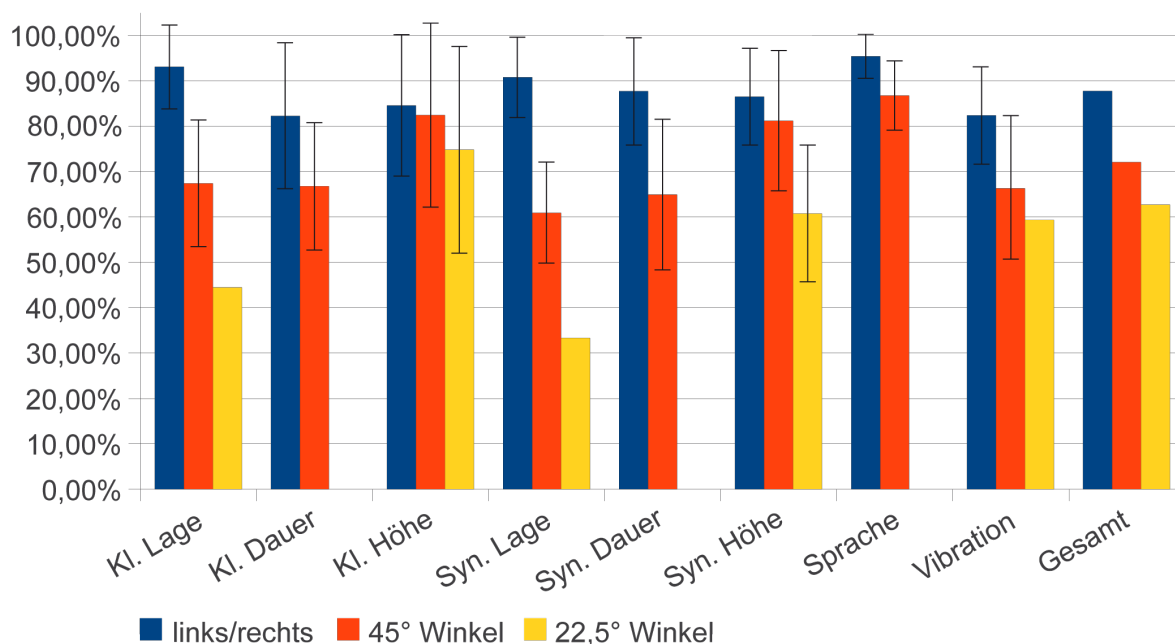


Abbildung 5.3: Erfolgsquoten nach Winkelgröße unterteilt

5.6 Ergebnisse

In Diagramm 5.3 sind die Erfolgsquoten der einzelnen Signalmodi nach Winkelgrößen dargestellt. Es wurde gemessen, wie viele Richtungen richtig zugeordnet wurden bei einer Winkelöffnung von 90°, 45° und 22,5°. Für die 45° Winkelgröße wurde die Anzahl richtiger Antworten eines Probanden für einen Signalmodus bestimmt und durch die Gesamtzahl der getesteten Richtungen (25) geteilt. Von den 13 Erfolgsquoten wurde für jeden Modus der Mittelwert und die Standardabweichung bestimmt. Für die Bestimmung der links/rechts Werte wurde bei den Antworten nur bewertet, ob die Richtung links und rechts richtig erkannt wurde. Bei 22,5° Winkelgröße wurden die Ergebnisse des Zusatztests verwendet. Dabei wurde der Test für die Modi Klarinette Tonhöhe und Synthesizer Tonhöhe fünfmal durchgeführt, für die restlichen Modi ein- oder keinmal. Des Weiteren wurde durch die einfaktorielle Varianzanalyse ANOVA die statistische Relevanz der Ergebnisse festgestellt ($F_{Wert} = 7,36 > F_{krit} = 1,69$; $P_{Wert} < 0,05$). Insgesamt ist ein deutlicher Unterschied der Erkennungsraten bei den verschiedenen Winkelgenauigkeiten feststellbar (90°: 87,84%, 45°: 72,12%, 22,5°: 62,6%). Bei der links/rechts Erkennungsrate hat neben der Sprache (95,38%) Klarinetten Raumklang (93,08%) am besten abgeschnitten. In der Kategorie 45° Winkel dagegen schnitt der Modus Klarinette Lage (67,38%) unterdurchschnittlich ab, Klarinette Höhe (82,46%) und Sprache (86,77%) erzielten hier die besten Ergebnisse. Klarinette Höhe erzielte auch bei der 22,5° Winkeleinteilung mit 74,81% das beste Ergebnis.

Zum Vergleich der verschiedenen Signalmodi wurde die 45° Winkeleinteilung genauer analysiert. Dafür sind in Diagramm 5.4 neben der Erfolgsquote noch die Ergebnisse der Belastungsaufgabe (Textfragen) und eine gewichtete Gesamtbewertung (Gewichtet) dargestellt. Die gewichtete Gesamtbewertung ist das Produkt der beiden Faktoren Erfolgsquote und Textfragen pro Durchlauf, das heißt, wurde bei einem Durchlauf die Belastungsaufgabe komplett falsch beantwortet, so wird der gesamte Durchlauf mit 0% bewertet. Zwar konnte für die Belastungsaufgabe keine statistische Signifikanz festgestellt werden ($F_{Wert} = 1,02 > F_{krit} = 2,10$; $P_{Wert} = 0,42$), dennoch ist zu bemerken, dass Klarinette Lage, Klarinette Höhe und Synthesizer Lage beim Belastungstest am besten abgeschnitten haben. Bei den ersten beiden wurde der Test in den 13 Durchläufen 9 mal komplett richtig beantwortet, bei Sprache war dies dagegen 5 mal der Fall.

Vergleicht man die mittlere Antwortdauer der unterschiedlichen Modi, so stellt man fest, dass die bei-

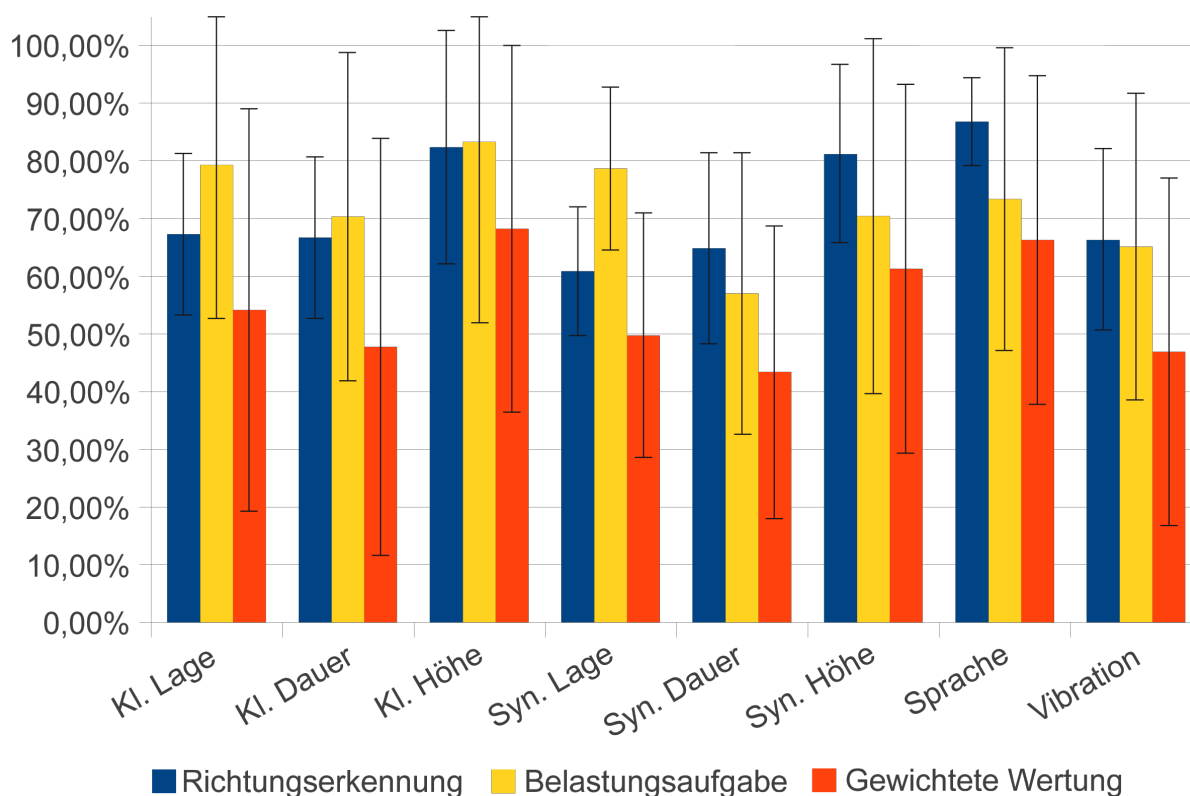


Abbildung 5.4: Resultate bei 45° Winkelgröße

den Modulationen durch Panning (Lage) die geringsten Antwortzeiten besitzen. Dies dürfte zumindest zum Teil auf die Signaldauer zurückzuführen sein, da die Antwortzeiten, bei denen die jeweiligen Signaldauern abgezogen wurden, ein anderes Bild ergeben. Bei diesen Reaktionszeiten schneidet Sprache am besten ab, die restlichen Signale liegen auf einem ähnlichen Level.

Auf dem Fragebogen gaben die Probanden ihre Einschätzung zu den verschiedenen Modi auf einer Likert-Skala an. Die gemittelten Ergebnisse und deren Standardabweichung sind in Abbildung 5.6 präsentiert. Um allgemeingültige Schlussfolgerungen ziehen zu können, wäre eine größere Befragung mit deutlich mehr Stichproben nötig gewesen, dennoch sollen die Meinungen der Probanden hier Eingang finden. Auffällig ist, dass die Werte des Parameter Tonhöhe als ähnlich eindeutig unterscheidbar eingestuft wurden wie Sprachausgaben. Alle non-verbale Signalmodi wurden als gut bis sehr gut von Hintergrundgeräusch und Stimme unterscheidbar bewertet. Die Sprachausgabe wurde mit neutral am schlechtesten eingestuft. Die geistige Anstrengung zur Lösung des Tests wurde für den Parameter Tonhöhe als recht einfach angegeben, sogar etwas einfacher als durch Sprache. Insgesamt gaben die meisten Probanden an, Synthesizer Tonhöhe für ein Fußgängernavigationssystem zu bevorzugen, gefolgt von Klarinette Höhe und Sprachausgabe.

In einer weiteren Frage sollten die Probanden einschätzen, wie angenehm sie ein Basissignal bei längerer Benutzung empfinden würden. Die Ergebnisse sind in Diagramm 5.7 dargestellt. Dabei äußerten die Probanden sehr unterschiedliche Meinungen und wurden auch dadurch beeinflusst, dass sie den Signalen beim Test unterschiedlich lange ausgesetzt waren. Durchschnittlich wurde Vibration als am angenehmsten eingeschätzt und die Klarinette als am stärksten störend.

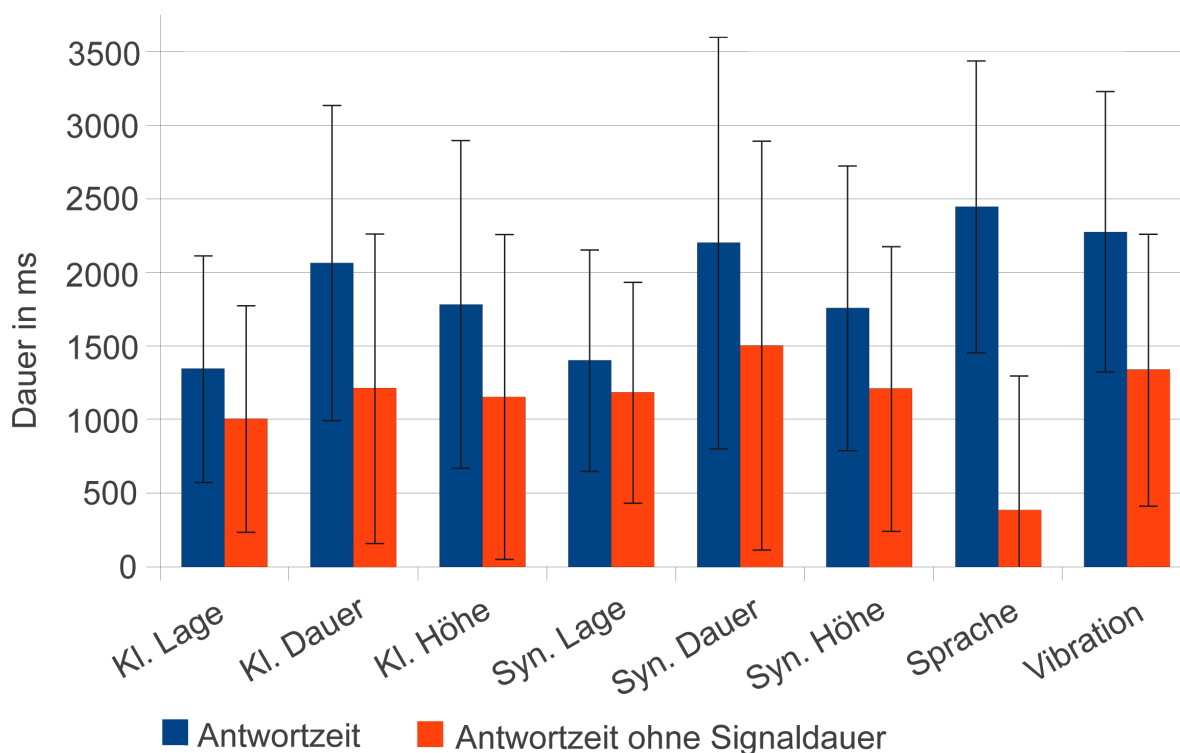


Abbildung 5.5: Antwortzeiten und Reaktionszeiten

Nach dem Versuch wurden die Versuchsteilnehmer noch gefragt, ob sie die Polarität der Signale als richtig empfanden oder dadurch verwirrt wurden. 2 der 13 Teilnehmer gaben an, dass für sie bei einem zweiteiligen Signal das erste Signal für rechts steht anstatt wie im Test verwendet für links; 8 der Probanden gaben an, dass sie die gegebene Polarität als richtig empfanden und 3 gaben keine Präferenz an. Bei der Frage, ob beim Parameter Dauer ein kürzeres Signal für eine größere Abweichung stehen sollte, waren sich die Probanden einig, dass das längere Signal für die größere Abweichung stehen sollte. Nur ein Proband gab eine neutrale Antwort. Dass beim Parameter Tonhöhe ein höherer Ton für eine größere Abweichung steht, wie er im Versuch verwendet wurde, empfanden ebenfalls alle Teilnehmer als richtig, nur 2 gaben keine bevorzugte Polarität an. Insgesamt ist bei der Polarität noch zu bemerken, dass die Befragten dadurch beeinflusst wurden, dass sie alle beim Test nur die eine Polarität kennengelernt haben.

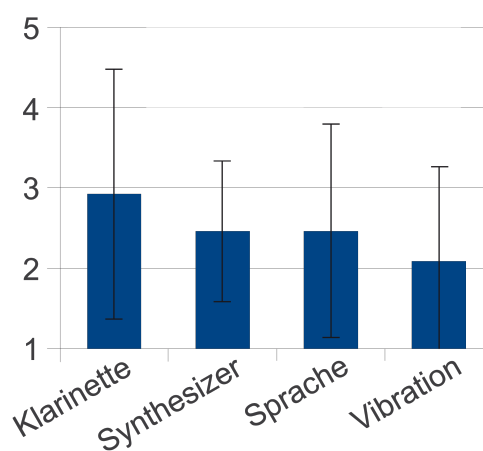


Abbildung 5.7: Bewertung der Angenehmheit der Basissignale (1=sehr angenehm, 5=sehr unangenehm)

5.7 Auswertung

Es ist festzuhalten, dass Umgebungswahrnehmung durch Klarinette, Synthesizer und Vibration relativ gering eingeschränkt wurde, während die künstliche Sprachausgabe zumindest subjektiv beim Hören der Belastungsaufgabe störte.

Die Wahl der Polaritäten wurden insgesamt bestätigt, fast alle Probanden gaben an, dass sie durch die

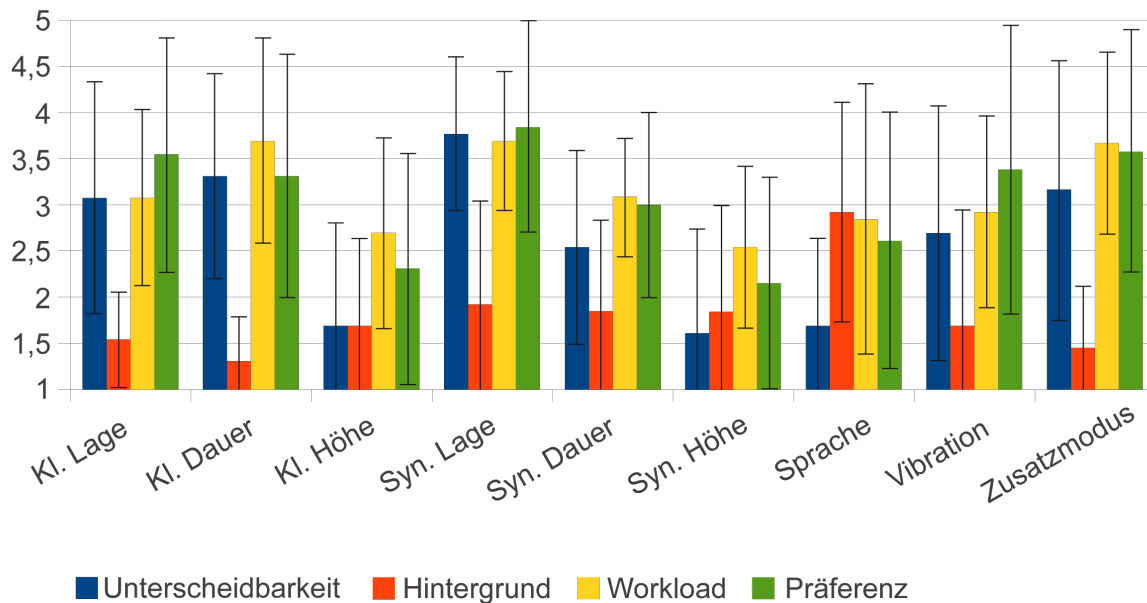


Abbildung 5.6: Resultate des Fragebogens mit Likertskala (1=sehr gut/leicht, 5=sehr schlecht/schwer)

Wahl nicht irritiert waren. Einige Probanden kommentierten, dass dies hauptsächlich Übungssache sei, da kaum jemand die Verwendung solcher Signale gewohnt ist.

Parameter Lage war bei der Unterscheidung von links und rechts sehr gut, die genauere Winkelschätzung liefert allerdings relativ schlechte Ergebnisse. Einige Probanden gaben an, Probleme dabei zu haben, geradeaus, halblinks und halbrechts voneinander zu unterscheiden. Die guten Ergebnisse der Belastungstest lassen auf einen geringen kognitiven Aufwand schließen. Ebenso ist die kurze Gesamtdauer bei der Erkennung ein Zeichen für eine geringe Ablenkung.

Parameter Dauer hat sich als schlecht unterscheidbar herausgestellt. Eventuell wäre ein noch größerer Unterschied zwischen den Signaldauern nötig gewesen, doch bereits in dieser Variante war die Gesamtdauer recht lang.

Parameter Tonhöhe bietet die beste nicht sprachliche Unterscheidbarkeit von 45° und 22,5° Winkeln. Die subjektive und die gewichtete Unterscheidbarkeit zeigten teilweise sogar bessere Ergebnisse bei der Tonhöhe als bei Sprache. Ein Proband sagte dazu „der hohe Ton der Klarinette ist sehr markant, dadurch ist die Unterscheidung besonders leicht“. Andere Probanden störten sich dagegen an den Klängen der Klarinette und fanden sie unangenehm. Die besondere Eignung des Tonhöhe Parameters zeigt sich auch in der Einschätzung der kognitiven Belastung und der Nutzerpräferenz.

Sprachausgabe zeigte die beste Erfolgsquote bei der Richtungsbestimmung, hatte jedoch beim Belastungstest schlechtere Ergebnisse als der Parameter Lage und Klarinette-Tonhöhe. Ein Proband bemängelte die relativ lange Ausgabedauer, die sich auch in der gemessenen Gesamtdauer widerspiegelt. Diese Dauer könnte etwas verkürzt werden, in dem man statt der Richtungs- und Winkelangabe beispielsweise „links“, „halblinks“, „gerade“, usw. verwendet. Die sehr kurze Reaktionszeit lässt sich damit begründen, dass diese Ausgabe sehr gewohnt ist und im Gegensatz zu den anderen Ausgaben nicht erlernt werden muss. Würde man Abkürzungen verwenden, um das Signal zu verkürzen, würde die Reaktionszeit vielleicht länger ausfallen.

Vibration ist nach Einschätzung der Probanden auf Dauer am angenehmsten. Allerdings wurden sie den Signalen vergleichsweise kurz ausgesetzt. Vibration schnitt bei der Erkennung recht schlecht ab. Anscheinend war die Unterscheidung der Signale zu schwierig, daher waren auch die Ergebnisse des Belastungstests nicht gut. Eine Versuchsperson gab an, besonders Probleme bei der Unterscheidung der längeren Vibrationen zu haben. Durch eine kürzere Grundvibration und quadratische

Zeitunterschiede der Vibrationsdauer könnte die Erkennung verbessert werden.

Insgesamt war die Erkennung der Richtung bei allen Parametern nicht so hoch, wie es für ein Navigationssystem wünschenswert wäre. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass die Testsituation für die Probanden ungewohnt war, die meisten hatten noch keine Erfahrungen mit Knochenkopfhörern gemacht und manche waren auch die Eingabe auf einem Touch-Display nicht gewohnt. Außerdem war die Eingewöhnungszeit nicht besonders lang. Daher ist bei den einzelnen Signalmodi noch mit einem Lerneffekt zu rechnen, wenn die Signale durch mehrfache Anwendung mit zeitlichem Abstand verwendet werden. Trotzdem sollte die Richtungsangabe auf 45° Winkel beschränkt sein, da die Erkennung bei $22,5^\circ$ Winkeln deutlich schlechter war. Auch wurde die Unterscheidbarkeit, Workload und Präferenz beim Zusatztest deutlich schlechter bewertet. Zwar waren die Ergebnisse der links/rechts Bestimmung besser als die Erkennung der 5 Richtungen, jedoch sind zwei Richtungen zu wenig für eine effiziente Führung.

Es hat sich herausgestellt, dass der Signalmodus Synthesizer-Tonhöhe am besten geeignet ist, um die Richtung anzugeben. Zwar lieferte der Signalmodus Klarinette-Tonhöhe vergleichbare Ergebnisse, allerdings wurde der Synthesizer als angenehmer empfunden. Die Parameter Dauer und Vibration waren ungeeignet, Richtungen anzugeben. Dennoch dürfte sich Vibration eignen, um zusätzliche Aufmerksamkeit zu erregen. Beim Parameter Lage hat sich gezeigt, dass es den Probanden nur möglich war, gut zwischen links und rechts zu unterscheiden, was beispielsweise hilfreich sein dürfte bei der Angabe, auf welcher Seite sich eine Orientierungskante befindet. Obwohl durch Sprache die Richtung eindeutig bestimmbar ist, sollte ein so häufiges Signal nicht für diese relativ wenig komplexe Information verwendet werden, gerade weil Richtungen sehr häufig angegeben werden müssen.

5.8 Zusammenfassung

In einem Labortest wurden verschiedene Basissignale und Parameter auf ihre Eignung zur Angabe von Richtungen untersucht. Es hat sich gezeigt, dass sich Klarinette mit dem Parameter Stereopanorama am besten eignet um 3 Richtungen darzustellen und Synthesizer-Dreieckswelle mit dem Parameter Tonhöhe die besten Ergebnisse zum Anzeigen von 5 Richtungen liefert.

6 Entwurf

Im folgenden Kapitel soll der selbst entwickelte Entwurf vorgestellt werden. Es wird erläutert, wie ein Navigationssystem umgesetzt werden kann, das der Aufgabenstellung entspricht. Zunächst wird die grundlegende Menüstruktur der Navigationsanwendung skizziert und Möglichkeiten zur Sonifikation der statischen Funktionen Zielauswahl, Umgebungsüberblick und Routenüberblick besprochen. Den Hauptteil des Kapitels bildet die dynamische Führung. Es wird erarbeitet, wann welche Signale für die dynamische Führung notwendig sind, und danach werden geeignete Soundmuster für die Signale gefunden.

6.1 Grundstruktur

Die Benutzungsschnittstelle unterscheidet zwei Funktionstypen, die in eigenen Menüs zusammengefasst werden. Zum einen sind dies allgemeinen Erkundungs- und Lernfunktionen, die beim Start des Programms verfügbar sind und zum anderen Funktionen, die während der Führung verwendet werden können. Seit Version 4.0 von Android wurden die Accessibilityfunktionen verbessert, unter anderem durch Explore-by-Touch. Damit werden die Elemente auf dem Bildschirm bei Berührung vorgelesen und erst durch einen Doppelklick darauf aktiviert. Durch die Verwendung einfacher, großflächiger Elemente dürfte eine Menüstruktur mit ListView recht gut bedienbar sein. In Abbildung 6.1 sind die geplanten Menüs dargestellt, die durch Explore-by-Touch gesteuert werden können.

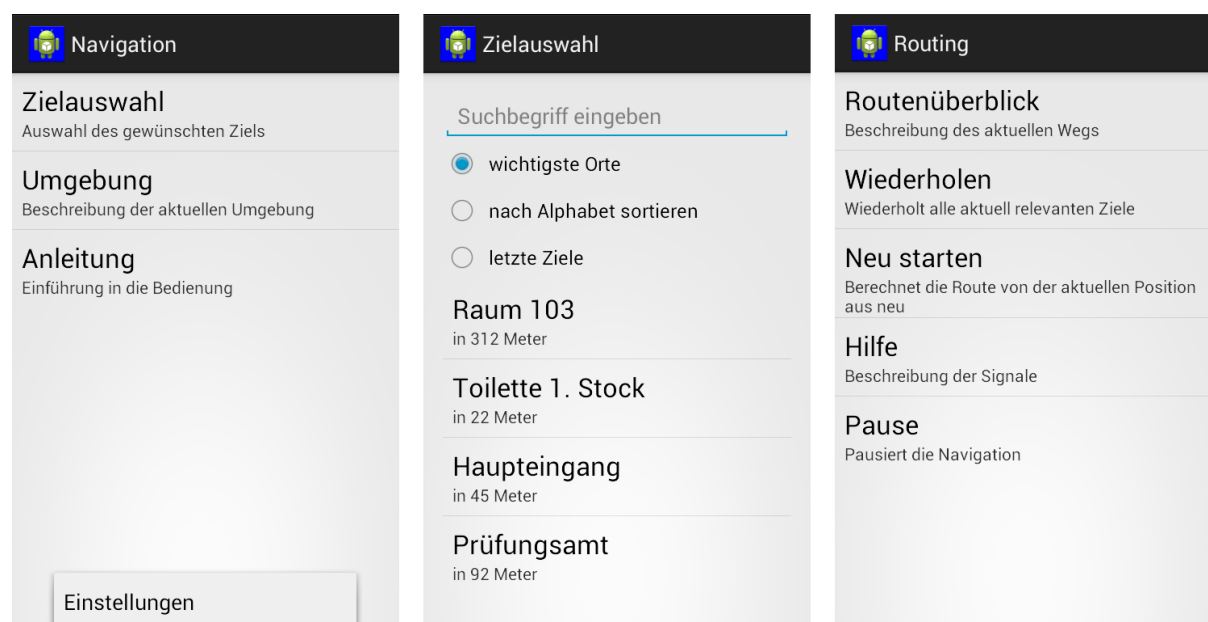


Abbildung 6.1: Benutzungsoberfläche (von links nach rechts: Hauptmenü, Zielauswahl, Führung)

Wie in [Kes12] festgestellt wurde, sind Gestensteuerung und Spracheingabe für Blinde gut nutzbar. Die Gestensteuerung ist durch die neue Explore-by-Touch Funktion nicht mehr nötig und wird durch eine klare Menüstruktur ersetzt. Spracheingabe ist intuitiver als Gestensteuerung, da keine komplizierten Gestenbeschreibungen erlernt werden müssen, sondern auf einfache Worte zurückgegriffen werden kann. Voraussetzung der Spracheingabe ist eine performante und robuste Implementierung, die ausreichend Feedback liefert. Eine einfache Implementierung basiert auf einzelnen Stichworten, auf die reagiert wird.

Als Stichworte eignen sich die Überschriften des vorgestellten Menüs. Die Spracheingabe benötigt bei Android eine ständige Internetverbindung, da die Spracherkennung auf Google Servern durchgeführt wird.

Das Hauptmenü besteht aus den Funktionen zum Erkunden der Umgebung und zum Erlernen des Programms (siehe Abb. 6.1 links).

Zielauswahl Liefert einen Überblick über die möglichen Ziele. Man kann sich eine Liste der wichtigsten Orte der Umgebung, eine alphabetische Liste der Ziele im Gebäude oder die zuletzt angesteuerten Orte anzeigen lassen. Wählt man ein Ziel aus, startet die Navigation.

Umgebung Liefert eine Beschreibung der Umgebung (siehe Abschnitt 6.3).

Anleitung Einführungsmodus. Erklärt sprachlich die Funktionen des Systems, wie geführt wird, wie die Signale aufgebaut und was sie bedeuten.

Während der Führung erscheint das Routing Menü (siehe Abb. 6.1 rechts) mit den Funktionen, die während der Führung relevant sind.

Routenüberblick Liefert einen Überblick über das Muster der geplanten Route.

Wiederholen Gibt alle aktuell relevanten Signale wieder.

Neustart Falls man die Orientierung verloren hat und keinen Wegpunkt findet, kann man mit diesem Befehl die Navigation von der aktuellen Position aus neu starten.

Hilfe Ausgeben aller verfügbaren Befehle und deren Wirkung. Während der Führung kann man sich alle Signale zusammen mit ihrer Bedeutung ausgeben lassen.

Pausieren der Navigation

Mit einem Druck auf die Menütaste öffnet sich das Kontextmenü. Es besitzt den Menüpunkt Einstellungen:

Einstellungen Das Einstellungsmenü öffnet sich als eigene Activity. Dort können verschiedene Einstellungen der Führung konfiguriert werden. Es ist dort möglich zwischen akustischer, taktiler und sprachlicher Führung zu wechseln. Außerdem können dort Details der Führung an die eigenen Bedürfnisse angepasst werden. Die Wegbreite kann verändert werden, das Orientierungssignal (de-)aktiviert und der Radius in dem vor Gefahren gewarnt wird.

6.2 Zielauswahl

Die Auswahl des Zieles wird durch eine Liste aller sinnvollen Ziele im Gebäude ermöglicht. In dieser Liste kann man suchen oder nach Kategorien sortieren und filtern (siehe Abb. 6.1 Mitte). Typische Ziele sind Orte mit einer bestimmten Funktion wie Toiletten, Café, Bahnsteig 13, Büro von Herrn X etc. Daneben sind die Gebäudeausgänge wichtige Ziele. Weil die möglichen Ziele eine nominale Information darstellen, eignet sich für deren Ausgabe die Sprachausgabe. Manche Zieltypen könnten zwar gut durch Auditory Icons repräsentiert werden, für jeden Typ eine intuitive akustische Repräsentation zu finden ist allerdings unrealistisch.

6.3 Umgebungsbeschreibung

Die Beschreibung der Umgebung erwartet beantwortet die Frage „Wo bin ich?“. Dazu gehört mindestens der Bereichs- bzw. Raumname und der grundsätzliche Aufbau des Bereichs. Der Name des Bereichs kann kaum non-verbal präsentiert werden, aber für die Beschreibung der Umgebung ist es zumindest möglich die grundlegende Raumstruktur darzustellen.

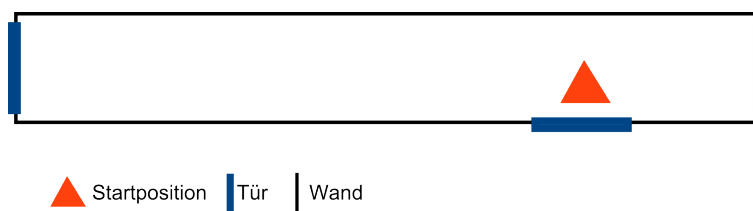


Abbildung 6.2: Beispielszene für die Raumbeschreibung

Dabei sollte grob die Form des Raums beschrieben werden. Als Beispielszene wird der in Abbildung 6.2 gezeichnete Raum verwendet. Eine sprachliche Beschreibung könnte „Sie befinden sich in einem Gang.“ lauten.

Variante 1: Anstatt der sprachlichen Beschreibung kann der Raumüberblick durch **Parameter-Mapping** sonifiziert werden. Bei einem horizontalen, kreisförmigen „Ray-Tracing“-Scan um die Position des Nutzers herum, werden die Wandentfernungen in alle Richtungen bestimmt. Die durch die interne Karte gemessenen Entfernungen werden als Variable für die Tonhöhe und Lautstärke eines Dreieckssignal verwendet. Wie ein solches Signal für das obige Szenario aussehen würde, ist in Diagramm 6.3 abgebildet. Das Signal beginnt links vom Hörer und läuft im Uhrzeigersinn um ihn herum. An welcher Stelle das Signal sich gerade befindet ist durch eine HRTF hörbar, für eine einfachere Implementierung kann auf Panning und Tiefpass zurückgegriffen werden. Durch einen Wechsel des Basissignals ist es ebenfalls möglich Bereichsübergänge wie Türen und Durchgänge zu markieren. Ein Beispiel dieser Sonifikation ist in *♫Konzept1* zu hören.

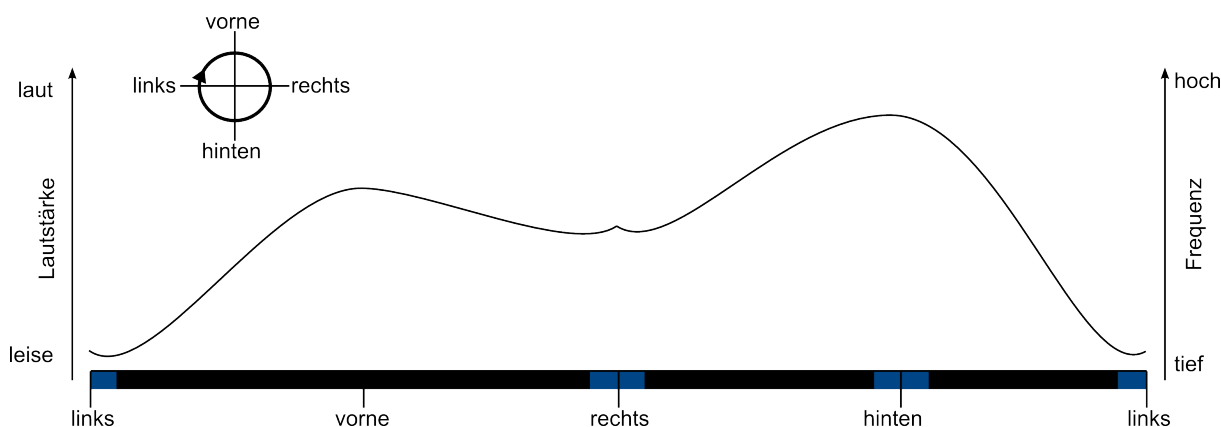


Abbildung 6.3: Variante 1: Raumbeschreibung durch Parameter-Mapping

Variante 2: Ein anderer Ansatz zur Sonifikation basiert auf dem **Sonar**. Dabei werden die Wandentfernung in vier Richtungen durch jeweils einen Dur-Akkord mit dem Grundton C5 präsentiert. Diese nacheinander abgespielten Akkorde erscheinen für den Hörer wie bei Variante 1 durch virtuellen Raumklang in den jeweiligen Richtungen zu liegen. Die zu interpretierende Information wird durch die akustischen Parameter Echo und Lautstärke übermittelt. Wie das Signal für den Beispielraum aussieht, ist in *♫Konzept2* zu hören und in Abbildung 6.4 graphisch dargestellt.

Die Sonartechnik erscheint auf den ersten Blick recht intuitiv, da manche Blinde ähnliche Techniken bereits verwenden, um sich in Räumen zurecht zu finden. Allerdings ist sie als Schnittstelle für ein Navigationsgerät weniger geeignet, denn die Unterschiede der Geräusche sind gerade in einer lauten Umgebung relativ schwierig zu hören und zu vergleichen. Außerdem kann eine Raumform durch die Angabe von vier einzelnen Entfernungen nur mangelhaft beschrieben werden. Gerade nicht rechteckige Gebäudeformen dürften problematisch sein.

Beim Parameter-Mapping wird die Raumform viel genauer und eindeutiger beschrieben. Allerdings ist

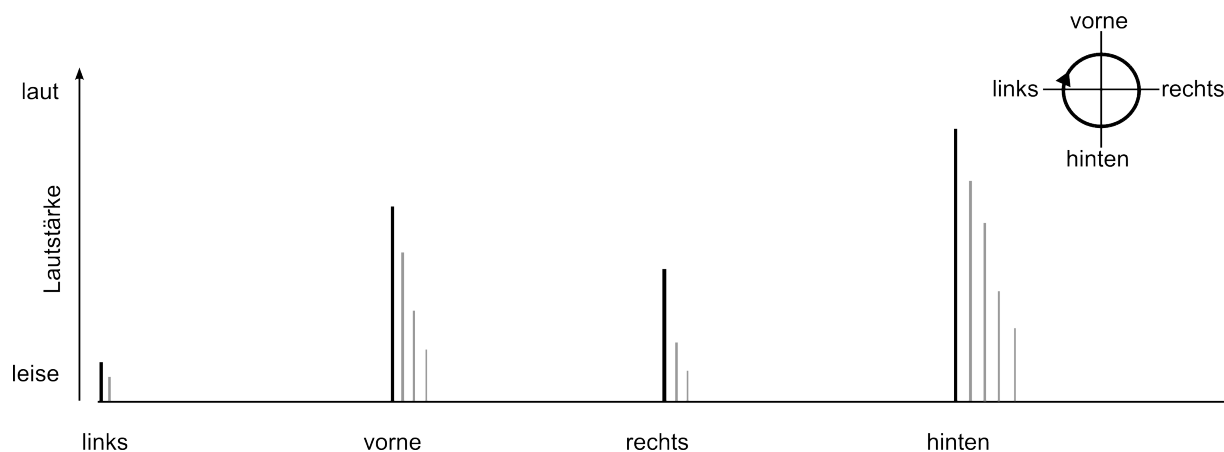


Abbildung 6.4: Variante 2: Raumbeschreibung „Sonar“

diese Form der Ausgabe sehr unnatürlich und ungewohnt. Damit wird ein gewisser Lernaufwand verbunden sein und somit von weniger Nutzern akzeptiert werden.

Es zeichnet sich folglich ab, dass diese komplexe Information der Raumform und initialen Ausrichtung besser durch sprachliche Beschreibung gegeben werden sollte. Eine Adaptierung des Detailgrads kann dadurch erfolgen, dass zuerst die wichtigsten Informationen wiedergegeben werden und später immer unwichtigere. Dadurch kann der Nutzer die Ausgabe abbrechen, wenn er gehört hat, was er erfahren möchte. Nachteil einer sprachlichen Beschreibung ist, dass sie schwer automatisch generiert werden kann. Inwieweit so etwas möglich und sinnvoll ist, muss noch untersucht werden. Wenn keine Beschreibung der Umgebung vorhanden ist, kann auf den kartierten Bereichsnamen zusammen mit Parameter-Mapping Sonifikation zurückgegriffen werden.

6.4 Routenüberblick

Zu Beginn der Navigation kann es sinnvoll sein, einen Überblick über die Gesamtroute zu bekommen. Hat der Nutzer genug Zeit und ist unsicher, ruft er diese Funktion auf und hört sich die Wegbeschreibung an, welche Bereiche er durchquert und was die wichtigsten Orientierungspunkte sind. Die Hauptinformation dabei ist das Routenmuster. Dieses bietet sich für die Sonifikation an.

In der Grafik 6.5 ist das Beispielszenario abgebildet. Eine mögliche sprachliche Ausgabe ist „Gehen Sie 5 Meter geradeaus und biegen Sie nach den Fahrstühlen linker Hand ab. Nach 20 Metern erreichen Sie den Bereich Seminarräume. Dort folgen Sie dem Gang bis zur ersten Abbiegung rechts und folgen dem Gang weiter bis zur 3. Tür auf der linken Seite.“

Variante 1: Eine Möglichkeit der Verklanglichung ist wieder Parameter-Mapping. Dabei wird der Weg durch ein zeitabhängiges, kontinuierliches Signal dargestellt. Das Signal wird in der Richtung gehört, in die man sich zu dem entsprechenden Zeitpunkt bewegt. Das Soundbeispiel ist unter *♪Konzept3* zu finden. Der Raumklang wird durch eine HRTF berechnet oder durch Stereo Panorama und Frequenz nachgeahmt. Bei der Imitation stellt das Panning die x-Richtung und die Frequenz die y-Richtung auf dem Lageplan dar. Dabei wird „vorne“ als hohe Frequenz und „hinten“ als tiefe Frequenz erzeugt. Zur Verringerung der kognitiven Belastung wird der Weg nicht nach einem genordeten Plan, sondern nach der aktuellen Orientierung des Hörers dargestellt.

Variante 2: Eine andere Präsentationstechnik ist der Zeitraffer. Dabei wird die Zeitabhängigkeit akustischer Signale zum Vorteil genutzt, indem die geplante Navigation simuliert wird. Um die Gesamtdauer kurz zu halten, wird die Simulation schneller abgespielt. Dadurch werden die Pausen und Signale kürzer, allerdings auch die Frequenz aller Töne höher. Das Ergebnis für die Beispielszene findet man unter

♫Konzept4.

Die sprachliche Beschreibung hat den Vorteil, dass sie viele komplexe Informationen klar vermitteln kann. Allerdings wird eine solche Beschreibung schnell sehr lang und die automatische Generierung ist ein komplexes Problem. Denn eine einfache, sprachliche Richtungsbeschreibung wird leicht eintönig und kann sich dadurch schlecht gemerkt werden. Die Verwendung von Bereichs- und Raumnamen, Durchquerungsmuster und Landmarken dagegen ist komplex und verlängert die Ausgabe. Die erste Variante ist aufgrund der unnatürlichen Klänge nicht intuitiv und liefert nur Richtungsformationen in einer Form, die vermutlich nicht leicht zu merken ist. Die zweite Variante dagegen bietet die Informationen in einer Form, wie sie auch bei der Navigation verwendet wird. Damit wird eine konsistente Darstellung gewährleistet.

Insgesamt wird hier Variante 2 für den Routenüberblick präferiert. Ob die Sonifikation wirklich besser geeignet ist als eine sprachliche Darstellung, müsste in einem Vergleich beider Umsetzungen erfolgen. Dafür müsste ein Konzept und eine Implementierung für die sprachliche Repräsentation des Weges erstellt werden. Dies bedeutet einen großen Aufwand, der den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde.

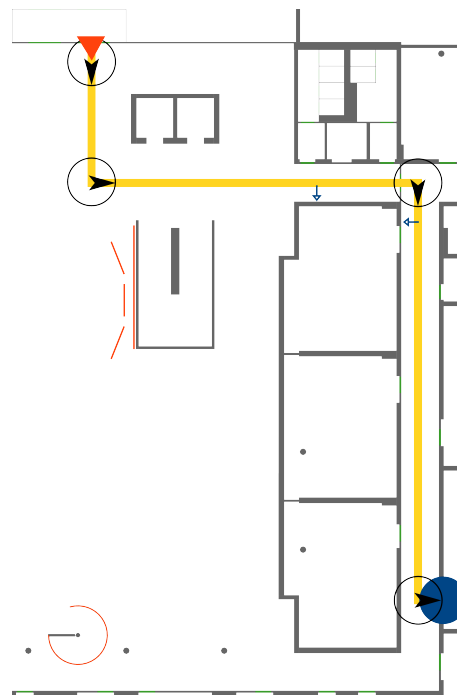


Abbildung 6.5: Beispielszene für die Wegbeschreibung

6.5 Führung

Im restlichen Kapitel wird beschrieben, wie ein Anwender geführt wird. Dazu wird erst beschrieben, welche Informationen auf dem Weg wichtig sind und wann sie präsentiert werden. Danach werden geeignete Signale zur Darstellung gefunden.

6.5.1 Dynamik

Wie in Abschnitt 4.3 besprochen, ist die Grundlage der Führung ein Grundriss mit einem geplanten Weg, der aus verbundenen Wegpunkten besteht. Um den Weg zu finden, ist die entscheidende Information die Richtungsänderung an den Wegpunkten durch ein **Richtungssignal**. Des Weiteren muss sichergestellt werden, dass der Geführte nicht den Weg verlässt. Dies wird zum einen durch ein **Wegabweichungssignal**, zum anderen durch Hilfestellung mit einem **Orientierungssignal** sichergestellt. Bei längeren Wegen wird der Nutzer durch ein **Entfernungssignal** ermutigt, dass er sich noch auf dem richtigen Weg befindet. Wird der Nutzer durch Bereichswechsel wie dem Wechsel des Stockwerks abgelenkt, wird dafür die Führung unterbrochen und nach dem Hindernis wieder aufgenommen. An gefährlichen Stellen weist ein **Gefahrensignal** den Anwender an, vorsichtig zu sein. Kann die Position des Nutzers nicht festgestellt werden, so wird auf diesen **Fehler bei der Positionsbestimmung** durch eine Warnmeldung hingewiesen. Zum Schluss wird dem Geführten signalisiert, dass er sein **Ziel erreicht** hat.

In der Grafik 6.6 ist eine Übersicht der Signale zu sehen, wie sie in der Praxis auf dem Wegverlauf erklingen.

Richtung

Ein Richtungssignal wird immer beim Start der Navigation und an jedem Wegpunkt benötigt. Da zum Start der Navigation nicht die Bewegungsrichtung festgestellt werden kann, muss eine Festlegung getroffen werden, die dem Nutzer in der Einführung und der Hilfefunktion vermittelt wird. Es kann angenommen werden, dass sich der Nutzer im Normalfall in der Nähe einer Wand oder einer Tür befindet. Daher wird festgelegt, dass die nächste Wand oder Tür als Referenz für die Startrichtung verwendet wird und sich der Anwender mit dem Rücken zu dieser ausrichtet. Falls dies aufgrund der Genauigkeit der Positionsbestimmung nicht möglich ist, so muss der Startpunkt und die Startausrichtung vom System festgelegt und durch Sprache vermittelt werden.

Bei den Wegpunkten ist abzuwägen, wann das Signal erscheint. Es wäre möglich, dass der Nutzer wie bei Fahrzeugnavigationen frühzeitig darauf hin gewiesen wird, im Stil von Meldungen wie „In 20 Metern rechts“. Bei Fortbewegung mit hohem Tempo wie in Fahrzeugen ist eine solche Vorwarnung sinnvoll, doch bei Schrittgeschwindigkeit ist dies fraglich. Zum einen ist nicht jeder Nutzer gut im Schätzen von Entfernungen, zum anderen wird durch eine zusätzliche Vorwarnung die kognitive Belastung erhöht. Daher ertönt das Richtungssignal erst unmittelbar vor der Richtungsänderung.

Aufgrund der Reaktionszeit des Nutzers und der Genauigkeit der Positionsbestimmung ist ein gewisser Toleranzbereich notwendig, ab dem die Richtung angezeigt wird. Im letzten Kapitel wurde bei der Evaluation eine durchschnittliche Reaktionszeit für das Richtungssignal Synthesizer-Höhe von $\sim 1,7s$ gemessen. Bei einer Schrittgeschwindigkeit von $1 \frac{m}{s}$ ¹ ergibt dies eine Strecke von 1,7m, die zurückgelegt wird, bevor der Nutzer auf die Richtungsänderung reagiert. Dabei wurde noch nicht berücksichtigt, dass der normale Nutzer wohl die Geschwindigkeit verringern wird, wenn er merkt, dass es sich um einen Wegpunkt handelt.

Außerdem ist der Radius abhängig von der Wegbreite. Der Radius sollte nicht größer sein als der Toleranzbereich der Wegstrecke.

Es wird Teil der Evaluation sein festzustellen, ob der Toleranzbereich geeignet gewählt wurde.

Wegabweichung

Was passiert, wenn der Nutzer vom geplanten Weg abweicht? Es ist unerlässlich darauf zu reagieren und dem Nutzer einen Hinweis zu geben. Zusätzlich zu diesem Hinweis sollte ihm mitgeteilt werden, was er tun muss, um wieder auf den Weg zu gelangen. Dabei muss unterschieden werden, worauf die Richtungsabweichung zurückzuführen ist. Entweder driftet der Nutzer auf einer gerade Strecke von der Route ab oder er bewegt sich in eine falsche Richtung. Im ersten Fall wird ein Wegabweichungssignal und ein Orientierungssignal, im zweiten Fall wird ein Wegabweichungssignal und ein Richtungssignal ausgegeben.

Weicht der Nutzer auf einer gerade Strecke vom Weg ab, so muss abgewägt werden, wie groß diese Richtungsabweichung ist. Bei kleineren Abweichungen kann es sein, dass diese Abweichung aufgrund der Mikronavigation nötig ist, sei es durch andere Verkehrsteilnehmer, die den Weg blockieren oder sei es durch Mobiliar, das durch ein Navigationssystem nicht ausreichend berücksichtigt werden kann. Daher ist auch hier wieder ein gewisser Toleranzbereich notwendig, der dem Nutzer zum einen erlaubt, solche

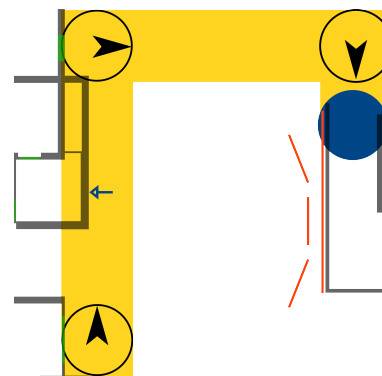


Abbildung 6.6: Signale bei der Zielführung

¹URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Schritttempo> Stand: April 2013

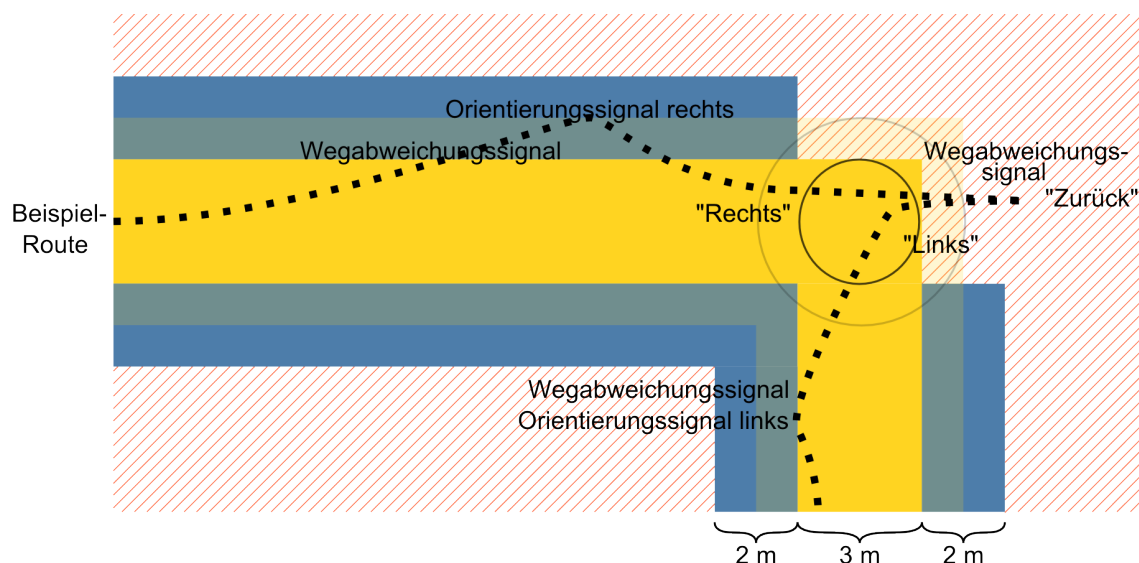


Abbildung 6.7: Beispielführung mit zwei kleineren und einer größeren Wegabweichung

Ausweichmanöver durchzuführen. Zum anderen sollte der Toleranzbereich möglichst klein sein, um ihm genügend Führung zu geben.

Bei großen Wegabweichungen muss das System den kürzesten Weg zurück auf die Strecke berechnen. Dieser Fall tritt auf geraden Strecken ein, wenn der Nutzer trotz Orientierungssignal sich weiter vom Weg entfernt oder an Wegpunkten, wenn die falsche Richtung eingeschlagen wird. In diesem Fall wird die Richtungsanweisung „hinten“ benötigt. Die Aufforderung umzudrehen ist allgemeiner gehalten und wird nur mit einem 90° Winkel angegeben, da der Nutzer zum Weg zurückkehren soll und dort ein Richtungssignal mit der korrekten Richtung erhält.

Wie das System auf Wegabweichungen reagiert ist in Abbildung 6.7 anhand einer Beispielführung dargestellt. Die gestrichelte Linie ist der gelaufene Weg des Beispielnutzers, die Beschriftungen stehen für die Signale des Systems, die während der Führung ausgegeben werden. Der blassgelbe Bereich und der hellgraue Kreis stehen für die Positionsbestimmungsgenauigkeit von etwa einem Meter um die Wegbreite und den Wegpunkt herum. Auf seinem Weg driftet der Geführte zunächst in den blauen Bereich ab, der für geringe Wegabweichungen steht. Durch das Wegabweichungs- und Orientierungssignal wird er zurück auf die Route geführt. Dann überhört er das Richtungssignal „rechts“, das ausgegeben wird, wenn er den Radius um den Wegpunkt betritt. Da er den rotschraffierten Bereich betritt, wird das Wegabweichungssignal ausgegeben und der kürzeste Weg zurück auf die Strecke bestimmt. Die Beispielperson wird durch die Richtungssignale „zurück“ und „links“ auf die richtige Strecke geführt. Auf dieser driftet er beinahe wieder vom Weg ab, seine Richtung wird aber sofort korrigiert.

Insgesamt muss das System so tolerant sein, dass es dem Nutzer erlaubt, seinen eigenen Weg durch Mikronavigation zu finden und dabei zu unterstützen. Andererseits soll es ihm helfen, wenn er durch andere Ablenkungen den Weg verloren hat und eine Orientierungshilfe benötigt. Diese Bedingung ist gewährleistet, wenn das System erst reagiert, wenn der Nutzer einen falschen Raum bzw. Bereich betritt oder eine gewisse Zeit in einer Raumnische nach einem Durchgang sucht. Da der zweite Fall schwer zu bestimmen ist, hat der Nutzer die Möglichkeit, mit dem „Neu starten“-Befehl das Routing von seiner aktuellen Position aus neu zu beginnen.

Es bleibt noch die Frage, wie breit der Weg nun sein sollte. Die Sächsische Versammlungsstättenverordnung gibt einen Hinweis darauf, wie breit typische Wege in öffentlichen Gebäuden sind. Rettungswege müssen 1,20 m je 200 Personen sein [vst]. Somit sind in öffentlichen Gebäuden normale Wege mindestens 1,20 m breit und Breiten von 2,40 m und mehr sind keine Seltenheit. Entscheidend für die Wahl der Wegbreite ist die Positionsbestimmung. Da eine Bestimmungsgenauigkeit von 2-3 Meter angenom-

men wird, sollte der Weg auch mindestens 3 m breit sein. Weil Blinde normalerweise nicht direkt an der Wand laufen, sollte auf Routen, die von einer Wand begrenzt sind, der zentrale Wegbereich von 3 m ebenfalls direkt an der Wand entlang verlaufen. Zusätzlich wird bei nicht strukturell begrenzten Routen ein Toleranzbereich benötigt, innerhalb dessen der Nutzer Hindernissen selbständig ausweichen kann. Dafür werden in beide Richtungen etwa ein Meter vorgesehen. Dadurch können beispielsweise Tische und Bänke entlang der Wand umlaufen werden. Der Toleranzbereich wird nicht größer gewählt, damit noch genügend Führung vorhanden ist.

Orientierungssignal

Außer bei der Wegabweichung wird das Orientierungssignal auch verwendet, um den zu unterstützen, den richtigen Weg einzuhalten. Wenn der Weg einer Orientierungskante bis zum nächsten Wegpunkt folgt, so wird dies dem Nutzer durch das Orientierungssignal mitgeteilt.

Die entscheidende Information des Orientierungssignals ist, wo sich eine Orientierungskante befindet. Dabei wird links, rechts und auf dem Boden unterschieden. Beispielsweise eine Wand kann sich links oder rechts von der Person befinden, ein Blindenleitstreifen befindet sich unter ihr. Es kann aber auch sein, dass es keine Orientierungskante gibt. Dieser Fall sollte von den anderen unterscheidbar sein. Sprachlich ausgedrückt bedeutet das Signal „Orientieren sie sich an der linken Seite (bzw. rechten Seite / an der Bodenmarkierung)“. Wenn sich beispielsweise der Geführte an der Orientierungskante Wand auf der linken Seite hält, wird er nicht vom Weg abweichen. Diese Technik hilft somit in Situationen, in denen eine Orientierungskante zur Verfügung steht.

Entfernung

Die Entfernungsangabe zum nächsten Zielpunkt ist bei der Führung von geringerer Bedeutung. Sie hilft dem Nutzer grob zu erkennen, ob er kurz vor dem Ziel steht oder noch weit entfernt ist. Diese Information ist ebenfalls durch ein Aufrufen der Wegbeschreibung möglich und wird daher während der Führung nicht als Signal dargestellt. Interessant für den Nutzer ist es, daraus abzuleiten, ob er sich dem Ziel nähert oder sich entfernt. Die Annäherung zum Ziel ist bei einer akustischen Entfernungsangabe schwer erkennbar, da ein großer Werteraum abgedeckt werden muss. Sinnvoll dagegen ist eine Entfernungsangabe für die Entfernung zum nächsten Wegpunkt, falls dieser relativ weit entfernt ist. Bei längeren Wegstrecken ab 30 m werden bei Schrittgeschwindigkeit etwa 30 Sekunden benötigt. Wenn das Gerät über diesen relativ langen Zeitraum kein Signal ausgibt, kann dies den Nutzer verunsichern. Ein Entfernungssignal kann ihn bestärken, dass er sich noch auf dem richtigen Weg befindet. Daher wird auf der Hälfte des Weges ein Signal ausgegeben, das den Anwender bestärkt. Ist der Weg noch länger als 60 Meter, so wird er in vier Abschnitte aufgeteilt. Diese Festlegung der Entfernungen, bei der die Strecke aufgeteilt wird, beruht nur auf dieser groben Abschätzung und müsste daher noch weiter untersucht werden.

Gefahren

Gefahren sollten relativ selten auftreten. Öffentliche Gebäude sind im allgemeinen so gebaut, dass sie keine große Gefahr für Personen mit eingeschränkter Mobilität darstellen. Wenn solche Gefahren bekannt werden, sollten sie behoben werden, statt sie zu kartographieren. Für temporäre Gefahren wie ungesicherte Baustellen ist es ebenfalls unwahrscheinlich, dass sie in Plänen erfasst werden.

Dennoch muss es möglich sein, über bekannte Gefahren zu informieren. Dabei sind Gefahren nur relevant, wenn eine akute Gefahr für den Nutzer besteht. Daher werden sie nur angegeben, wenn sie auf dem Weg des Nutzers liegen. Entscheidend für die Ausgabe ist die Genauigkeit der Positionsbestimmung und die Reaktionszeit des Nutzers. Bei einer Reaktionszeit von etwa 2 Sekunden und einer Positionsbestim-

mungsgenauigkeit von einem Meter muss vor Gefahren spätestens in 3 m Entfernung gewarnt werden. Dabei wird angegeben, ob sich die Gefahr links, mittig oder rechts auf dem Weg befindet.

Bereichswechsel

Als Bereichswechsel werden Situationen angesehen, bei denen die Interaktion des Nutzers mit seiner Umgebung notwendig ist. Dies sind zum Beispiel der Wechsel des Stockwerks durch Treppe, Aufzug oder Rolltreppe oder das Durchqueren geschlossener Türen beim Betreten oder Verlassen eines Gebäudes. In diesen Situationen muss gesagt werden, welches Verhalten vom Nutzer erwartet wird. Dieser führt dann die Handlung durch und benutzt beispielsweise die Rolltreppe. Wenn die neue Position des Nutzers festgestellt wurde, wird die Führung mit einem neuen Führungssignal normal fortgesetzt.

Ziel erreicht

Wenn das Ziel des Routings erreicht wurde, so wird ein passendes Signal abgespielt, um dem Nutzer dies mitzuteilen.

6.5.2 Darstellung

Nachdem die Ereignisse und das Verhalten bei der Führung beschrieben wurden, werden im folgenden die dafür verwendeten Signale vorgestellt.

Richtung

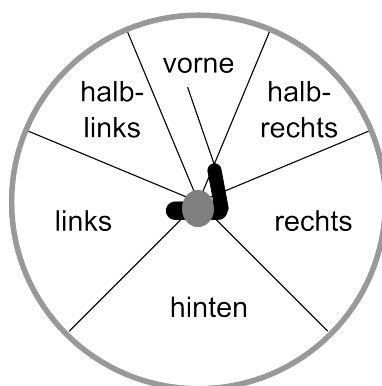


Abbildung 6.8: Mögliche Richtungsangabeungen

Die Richtungssignalisierung wurde bereits im letzten Kapitel analysiert. Es hat sich gezeigt, dass die Tonhöhe am besten geeignet ist, um 45° Winkel anzuzeigen. Genauere Winkelangaben wären zwar wünschenswert, sind aber mit den getesteten Methoden nicht sinnvoll zu vermitteln. Außerdem fehlt bisher ein Geräusch zur Signalisierung, dass der Geführte umkehren sollte. Dieses Signal wird nur benötigt, wenn der Nutzer von der geplanten Route abweicht. Eine sinnvolle Darstellung dieses Geräusches leitet sich aus den anderen Richtungen ab: Es wird der höchste Ton dreimal wiederholt. Diese Darstellung wird beim taktilen Kompass analog verwendet. Der Nutzer kann durch den bekannten Klang das Signal der Richtungsangabe zuordnen. Dabei wird die Aufmerksamkeit leicht erhöht, da das Signal dreimal wiederholt wird und es sich so nicht um ein gewöhnliches Richtungssignal handelt. Außerdem wird es leicht der Richtung „hinten“ zuordnen können, da die Tonhöhe sonst für eine maximale

Abweichung in eine der beiden Richtungen steht. Welche Richtungsangaben nun mit diesen Parametern möglich ist, wird in Grafik 6.8 dargestellt. Die Richtungssignale können im Soundordner unter $\mathcal{N}Nav00$ bis $\mathcal{N}Nav05$ (links bis hinten) gehört werden.

Wegabweichung

Unterschiedliche Warnsignale können verschieden große Bedrohungen vermitteln. Diese Wahrnehmungen von Warnsignalen in Desktop Computer Umgebungen wurden von Amer et al. [AJMN13] untersucht. Es wurde festgestellt, dass Tonhöhe und Frequenz eine Auswirkung auf die Bedrohungswahrneh-

mung haben. Tiefere Intervalle wurden bedrohlicher empfunden als höhere und dissonante bedrohlicher als konsonante. Allerdings wurden auch abweichende Effekte festgestellt, die auf eine vorherige Prägung auf die gewohnte Arbeitsumgebung der Teilnehmer zurückgeführt wurde. Für die Wegabweichung wird das Signal $\mathcal{N}Nav10$ verwendet. Es handelt sich um eine große Septime um den Ton C5. Es ist somit nicht das bedrohlichste Signal, da es eine tiefe Frequenz besitzt, vermittelt aber dennoch einen starken Effekt, dass eine Reaktion erforderlich ist. Als Basissignal wird wie in [AJMN13] die MIDI-Synthese eines Grand Piano verwendet, da die Klarinette im Labortest von den Probanden als unnatürlich und nicht angenehm empfunden wurde. Zusätzlich wird der Anwender durch ein 50 ms kurzes Vibrationssignal darauf hingewiesen, dass er den Weg verlassen hat.

Orientierungssignal

Im Versuch zur Richtungsbeschreibung hat sich herausgestellt, dass die Unterscheidung von links und rechts gut durch Stereo-Panning realisiert werden kann. Damit kann die Ausgabe sehr kurz gehalten werden, da das Signal nicht wie die Richtungsangabe aus zwei Tönen kombiniert wird. Es können so Orientierungskanten links und rechts dargestellt werden und zusätzlich bezieht sich ein auf beiden Ohren gleich lautes Signal auf eine Orientierungskante am Boden. Ertönt kein Orientierungssignal, so gibt es keine geeignete Kante, an der sich orientiert werden kann. Das Signal sollte ein harmonisches, wohlklingendes Signal sein, das den Nutzer „anlockt“. Daher wurde ein Grand Piano Dur-Akkord mit dem Grundton C5 gewählt. Der Akkord ist konsonant und wird daher als positiv empfunden. Dieser Effekt wird auch durch die hohe Tonlage verstärkt. Außerdem wird – wie in Abschnitt 3.2 erläutert – durch diese Konfiguration (Musikinstrument mit vielen Obertönen und hohe Tonlage) die Wahrnehmung des Stereoklangs verbessert. Gehört werden kann das Signal unter $\mathcal{N}Nav06$ ohne Stereopanorama. Die Parametrisierung wird on-the-fly durch die Soundschnittstelle vorgenommen.

Entfernung

Um ein intuitives Signal zu finden, ist es sinnvoll zu betrachten, wie Menschen Entfernungen normalerweise wahrnehmen. Dabei kann zwischen Annäherung und Entfernung unterschieden werden.

Variante 1: Die Darstellung der Annäherung wird intuitiv durch den Doppler-Effekt realisiert. In diesem Fall nähert sich der Hörer der Tonquelle, wodurch es zu einer Erhöhung der Ausgangsfrequenz kommt. Bei einer realistischen Simulation des Doppler-Effekts wäre es aufgrund der geringen Geschwindigkeit eines Fußgängers nur schwer möglich, den Effekt wahrzunehmen. Daher müsste der Effekt stärker dargestellt werden als er tatsächlich ist. Deutlich zu erkennen ist der Effekt, wenn sich die Schallquelle nicht nur auf den Hörer zu bewegt, sondern an ihm vorbei. Dadurch könnte er sofort erkennen, ob er sich auf das Ziel zubewegt oder sich davon entfernt.

Variante 2: Wie Entfernungen in mobilen Navigationsanwendungen am besten parametrisiert werden können, wurde in einem Paper von Liljedahl et al. untersucht [LL11]. Es wurde festgestellt, dass eine Kombination aus Hall und Tiefpassfilterung sich am besten von den untersuchten Parametern Tonhöhe, Hall und Tiefpass eignet. Die Parameter leiten sich von dem natürlichen Raumklang ab, denn der Wegpunkt wird so dargestellt, als würde er selbst das Signal verursachen. Durch die Übertragung über die Luft verliert das Signal an Lautstärke und wird in den höheren Frequenzen gedämpft. Als Basissignal, auf das die Parameter angewendet werden, bietet sich das Richtungssignal für „geradeaus“ an, da man sich kein neues Signal merken muss und man ermuntert wird, dem Weg weiter zu folgen.

Für die Benutzungsschnittstelle wird Variante 2 ausgewählt, da sie konsistent zu den Richtungssignalen ist und intuitiv Entfernung darstellt. Das parametrisierte Richtungssignal kann in drei Stufen unter $\mathcal{N}Nav11$ - $\mathcal{N}Nav13$ gehört werden.

Warnung vor Gefahren

Bewegt sich der Fußgänger auf eine Gefahrenstelle zu, so wird er von einem Gefahrengeräusch gewarnt. Da Gefahren die größten Bedrohungen in der Navigation darstellen, sollten sie als am bedrohlichsten dargestellt werden. In der Arbeit von Amer et al. ist dies die große Septime, in deren Mitte der Ton C3 liegt [AJMN13]. Dieses Signal wird durch Stereo-Klang parametrisiert, um eine grobe Richtungsbeschreibung zu ermöglichen. Für die Konsistenz des klanglichen Bildes wird zur Realisierung wieder das Grand Piano als Musikinstrument verwendet. Das Gefahrensignal befindet sich im Soundordner unter *Nav07*. Die Parametrisierung ist nicht im Soundbeispiel enthalten, sie wird von der API hinzugefügt. Zusätzlich zum Klang wird ein Vibrationssignal mit einer Länge von 200 ms ausgegeben, damit der Nutzer noch stärker auf die Gefahr hingewiesen wird.

Bereichswechsel

Beim Wechsel von einem Bereich in einen anderen werden häufig komplexe Informationen benötigt. Diese Informationen sind beispielsweise der Name des Bereiches, in den man wechselt oder die Hilfsmittel, die für den Bereichswechsel verwendet werden müssen wie Treppe, Rolltreppe, Aufzug und Drehtür. Eine Kodierung von Bereichsnamen durch akustische Signale ist aufwendig zu erlernen und daher nicht sinnvoll umsetzbar. Kodiert werden könnte die Kategorie des Hilfsmittels für den Bereichswechsel. Je nach Typ werden unterschiedliche Auditory Icons verwendet, etwa eine Treppe durch Schritte auf Treppenstufen oder eine Tür durch das „Knarzen“ einer sich öffnenden Tür. Dennoch ist damit nur sehr begrenzt Informationsvermittlung möglich. Daher ist an dieser Stelle die sprachliche Ausgabe zu verwenden. Ein Beispiel dafür ist „Gehen sie über die Treppe in den ersten Stock“ oder „Gehen sie durch die Drehtür in das Foyer“. Im Anschluss können optional detaillierte Informationen über die Methode wiedergegeben werden wie „Die Treppe hat ein Zwischenpodest zwischen jedem Stockwerk und besitzt einen Handlauf mit Stockwerksbeschriftung in Brailleschrift auf der linken Seite“.

Ziel erreicht

Das erreichte Ziel wird durch ein positives und bestätigendes Signal dargestellt. Dafür wird ein konsonantes Intervall um C5 auf dem Grand Piano verwendet, das durch ein Arpeggio aufgelöst wird, das heißt, die Töne werden kurz hintereinander gespielt. Ähnlich wie in vielen Computerspielen wird dabei eine hohe Tonlage verwendet und der höhere Ton als zweites gespielt. Das Ergebnis kann unter *Nav08* gehört werden.

Warnung bei Fehler der Positionsbestimmung

Es kann sein, dass ein Fehler bei der Positionsbestimmung auftritt. Darauf sollte der Nutzer hingewiesen werden. Als Metapher wird der Freiton einer Telefonverbindung verwendet. Beim Telefon wird so signalisiert, dass die Leitung frei ist und der gewählte Teilnehmer gerufen wird. Auf die Navigationsanwendung übertragen bedeutet dies, dass die Anwendung aktiv ist und auf eine Verbindung (zur Positionsbestimmung) wartet. Bei diesem Ton handelt es sich um eine Sinusschwingung mit 425 Hz. Dieser Ton wird alle vier Sekunden eine Sekunde lang abgespielt [Deu07]. Das Klangbeispiel dazu ist als *Nav09* beschriftet.

6.6 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurde die Grundstruktur einer Navigationsanwendung vorgestellt und besonders auf die Funktionen eingegangen, die von Sonifikation profitieren. Neben dem Umgebungsüberblick und dem Routenüberblick ist dies vor allem die Führungsfunktion. Es wurde die Interaktion bei der dynamischen Führung entlang einer geplanten Route beschrieben und ein Set von geeigneten Ausgabemustern erstellt.

7 Pilot-Studie

Nachdem im letzten Kapitel die Benutzungsschnittstelle für die dynamische Führung beschrieben wurde, soll sie in diesem Kapitel anhand eines realitätsnahen Tests auf ihre Gebrauchstauglichkeit überprüft werden. Bei der Evaluation werden die Leitlinien für die Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit aus der Norm ISO9241-11 berücksichtigt [ISO]. Danach wird der Anwendungsrahmen der Evaluation definiert, der sich aus den Komponenten Ziele, Nutzungskontext und Maße der Gebrauchstauglichkeit zusammensetzt. Das Zusammenspiel der Komponenten ist in Graphik 7.1 dargestellt. Für eine ordentliche Evaluation müssen zunächst die einzelnen Komponenten beschrieben werden. Das Produkt ist die im letzten Kapitel beschriebene User Interface.

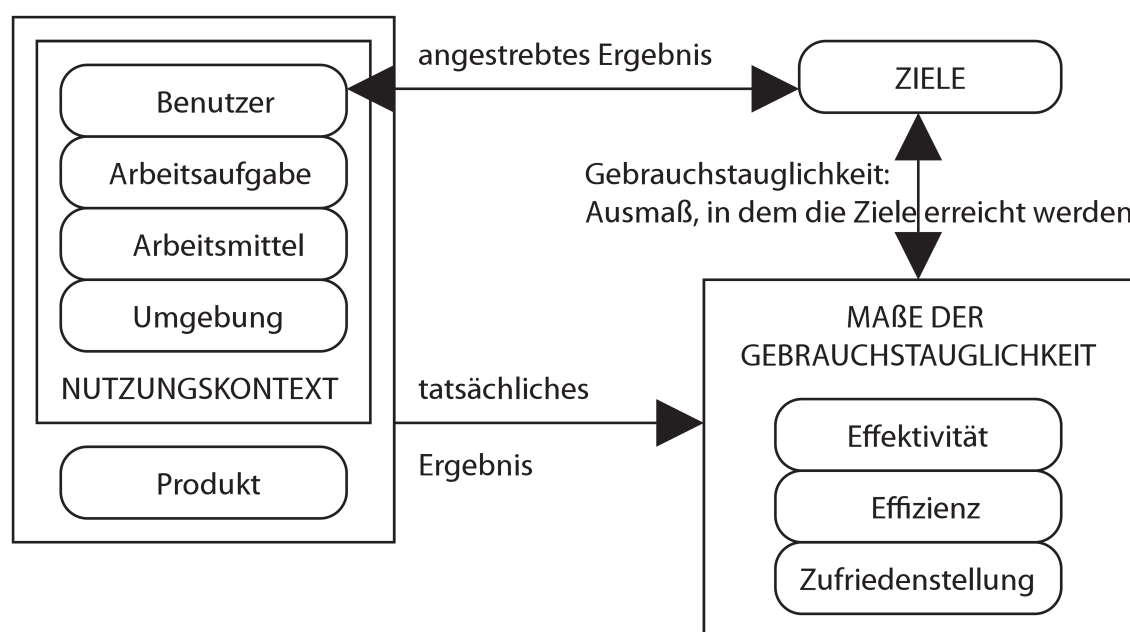


Abbildung 7.1: Anwendungsrahmen für Gebrauchstauglichkeit nach [ISO]

Nutzungskontext

Die Gebrauchstauglichkeit eines Produkts hängt stark vom Nutzungskontext ab. Der Nutzungskontext besteht aus Zielgruppe, Arbeitsaufgabe, Arbeitsmittel und Umgebung. Die Zielgruppe „blinde und sehbehinderte Menschen“ wurde in Kapitel 2 genauer betrachtet. Im selben Kapitel wurden die Eigenschaften der Nutzungsumgebung „Öffentliche Gebäude“ untersucht. Mit dem Arbeitsmittel „Smartphone“ beschäftigte sich Abschnitt 4.5. Die Aspekte der Arbeitsaufgabe „Routenführung durch Sonifikation“ wurden im Kapitel 3 und Kapitel 4 beleuchtet.

Ziele

Das angestrebte Ergebnis ist eine Nutzerschnittstelle für eine dynamische Fußgängernavigation. Dabei liegt die dynamische Führung im Fokus. Die Menüstruktur des Programms wird nicht weiter untersucht,

da dessen Gebrauchstauglichkeit hauptsächlich von der zugrundeliegenden Plattform und deren Accessibility Funktionen abhängig ist.

Maße der Gebrauchstauglichkeit

Die Maße der Gebrauchstauglichkeit setzen sich zusammen aus Effektivität, Effizienz und Zufriedenstellung. Die ersten beiden sind quantitativ messbar und überprüfbar, letzteres wird durch subjektive Methoden festgestellt.

Effektivität ist „Die Genauigkeit und Vollständigkeit, mit der Benutzer ein bestimmtes Ziel erreichen.“ [ISOb]. In diesem Fall wird gemessen, ob eine Zielerfüllung allein durch das Produkt möglich ist, also ob und wie oft der Versuchsleiter eingreifen muss, um die Erfüllung des Ziels zu gewährleisten.

Effizienz ist „Der im Verhältnis zur Genauigkeit und Vollständigkeit eingesetzte Aufwand, mit dem Benutzer ein bestimmtes Ziel erreichen.“ [ISOb]. Für diesen Faktor wird die Zeit für die Erfüllung der Aufgabe gemessen und die Häufigkeit von Wegabweichungen bestimmt. Außerdem wird die kognitive Belastung durch den NASA Task Load Index gemessen.

Zufriedenstellung ist die „Freiheit von Beeinträchtigungen und positive Einstellungen gegenüber der Nutzung des Produkts.“ [ISOb]. Um diese zu bestimmen, wird während dem Versuch die Thinking-Aloud Methode angewendet und der Nutzer hinterher interviewt.

Zusätzlich werden die Erfüllung der in Abschnitt 4.6 geforderten Grundsätze der Dialoggestaltung sowie die Erfüllung der Kriterien für geeignete Soundmuster nach Abschnitt 5.1 überprüft. Um eine Gesamteinschätzung der Gebrauchstauglichkeit zu erhalten, wird eine Bewertung nach der System Usability Scale bestimmt.

7.1 Versuchsaufbau

Der Test fand unter möglichst realistischen Umgebungsbedingungen statt. Dafür wurde eine Zielführung in einem belebten Universitätsgebäude durchgeführt. Der Versuchsleiter **beobachtete** den Probanden, wie er seine Aufgabe erfüllte, die Strecke nur mit Hilfe der Benutzungsschnittstelle finden, und auf welche Probleme er dabei stieß. Der Proband wurde zur Anwendung der **Thinking-Aloud** Technik ermuntert, das heißt, er sollte möglichst alle Gedanken bei der Durchführung verbalisieren. Das Navigationssystem wurde mit der **Wizard-of-Oz** Methode realisiert, das heißt, die Funktionalität des Prototypen wurde nicht implementiert, sondern vom Versuchsleiter („Wizard“) simuliert. Durch die Wizard-of-Oz Technik wurden die fehlende Positionsbestimmung, Routenplanung und die Befehleingabe ersetzt, indem der Versuchsleiter anhand vorher festgelegter Systemreaktionen auf Sprachbefehle und anhand der geplanten Route die entsprechenden Soundausgaben abspielte. Nach dem Versuch wurde mit dem Probanden mit von offenen Fragestellungen ein Interview über seine Einschätzungen geführt. Außerdem wurden mit standardisierten Fragebögen die kognitive Belastung der Anwender durch den **NASA Task Load Index**¹ und die Gebrauchstauglichkeit durch die **System Usability Scale** [Bro96] bestimmt.

Prototyp Implementierung

Für die Evaluation wurde ein Lo-Fi Prototyp als Android Anwendung entwickelt. Dieser spielt über die SoundPool-Schnittstelle die unterschiedlichen vorproduzierten Signale ab. Lediglich der Parameter Stereo-Panning wird on-the-fly auf die Signale angewendet. Gesteuert werden die Ausgaben vom Versuchsleiter, der das Programm mit einer Bluetooth Tastatur steuert. Wann welche Signale ausgelöst wurden, wird in einem Stringbuffer geloggt, der beim Beenden des Programms oder auf Tastenbefehl

¹URL: <http://humansystems.arc.nasa.gov/groups/TLX/paperpencil.html> Stand: April 2013

als CSV-Datei auf der SD-Karte abgespeichert wird. Als Versuchsgerät für die prototypische Anwendung wurde eine Google Nexus S mit Aftershokz Bone Conduction Sport Headphones verwendet. Der Versuchsleiter bediente das Gerät mit der Bluetoothtastatur „RT-UMK-100-BT“.



Abbildung 7.2: Probanden und Versuchsleiter beim Pilottest (von links nach rechts: Startsituation, Ausrichtung beim Wegpunkt, Gefahrensituation)

Durchführung

Der Versuch begann mit der Befragung über persönliche Daten der Testperson. Anschließend wurde eine Einführung in die Steuerung der Benutzungsschnittstelle und des Versuchsgeräts gegeben. Dabei wurden die Bedeutungen der verschiedenen Signale erklärt und deren Erkennung trainiert. Anschließend wurde die Testperson zum Startpunkt geführt. Ein Proband führte das Smartphone in der Hosentasche mit sich, der andere hielt es während des Versuchs in der Hand. Als Versuchsgelände diente das Informatikgebäude der TU Dresden. Die Teststrecke beginnt an der Bushaltestelle vor dem Gebäude, verläuft über den Gebäudeeingang zu Raum E008, Raum E023 und schließlich zu Raum 1063 im ersten Stockwerk. Die genaue Route und Planung der Signale ist in den Graphiken im Anhang A2 zu finden. In den Routenabschnitten 3 und 4 ist jeweils eine Gefahrenwarnung vor unterlaufbaren Treppen ausgegeben worden. Im letzten Abschnitt wurde bewusst zunächst ein Richtungssignal nicht ausgegeben, um das Fehlermanagement bei einem falsch interpretierten Richtungssignal zu untersuchen. Der gesamte Versuch wurde für die spätere Auswertung von der Assistentin des Versuchsleiter auf Video aufgezeichnet. Abschließend wurden die standardisierten Fragebögen abgefragt und das Interview mit dem Probanden geführt.

7.2 Ergebnisse

Der Versuch wurde mit zwei blinden Probanden (25 Jahre, männlich, geburtsblind und 51 Jahre, weiblich, früh erblindet) durchgeführt. Beide Teilnehmer haben keine weiteren Mobilitätseinschränkungen, haben ein Mobilitätstraining absolviert und benutzen einen Langstock. Sie kennen sich auf dem Versuchsgelände gut aus und nutzen keine Navigationsgeräte, haben solche Geräte aber irgendwann ausprobiert. Beide Probanden sind technikaffin, benutzen regelmäßig Geräte mit Touch Screen. Eine Testperson testet beruflich Software im Accessibility-Bereich und kann somit als Experte gesehen werden.

Der Probandentest wurde ohne größere Probleme von beiden Versuchspersonen absolviert. Sie benötigten 9 min und 49 s sowie 10 min 3 s für die Gesamtstrecke. Es gab lediglich eine ungeplante größere Wegabweichung, die ebenso wie die geplante Wegabweichung im letzten Abschnitt selbstständig durch die Systemfunktionen korrigiert werden konnte.

Die Berechnung des NASA Task Load Index ergab eine Bewertung von 17 und 18 auf einer Skala von 5 bis 100. Für die Berechnung der Gewichtung wurde gezählt, wie häufig ein Faktor vom Probanden

als entscheidender für die wahrgenommene Anstrengung gesehen wurde. Die Gewichtungen der Faktoren wurden mit den jeweiligen Werten der Faktoren multipliziert. Die Summe der gewichteten Faktoren dividiert durch 15 ergeben die Gesamtwertung. Im Detail wurde die geistige Anforderung als am entscheidendsten angesehen. Sie wurde mit 20 und 25 von 100 Punkten dennoch als eher gering belastend bewertet. Ansonsten bewertete der eine Proband physische Arbeit (40) und Anstrengung (35) relativ hoch, der andere Proband nur Leistung (25). Alle anderen Faktoren wurden mit der geringsten Punktzahl (5) bewertet.

Auf der System Usability Scale wurde ein Wert von 92,5 und 95 auf einer Skala von 0 bis 100 festgestellt. Zur Berechnung wurden die Bewertungen(1-5) der ungeraden Fragen mit 1 subtrahiert und die Bewertungen der geraden Fragen von 5 subtrahiert. Die Summe der Ergebnisse wurde mit 2,5 multipliziert, um die Gesamtwertung zu erhalten. Die einzelnen Fragen wurden alle mit der besten oder der zweitbesten Wertung eingeschätzt.

7.3 Auswertung

Der Probandentest hat gezeigt, dass mit der Benutzungsschnittstelle eine Führung möglich ist. Die Ergebnisse bei der Messung der **System Usability Scale** zeigen eine gute Gebrauchstauglichkeit der Benutzungsschnittstelle insgesamt.²

Durch den **NASA Task Load Index**, die wenigen Wegabweichungen und relativ kurze Dauer des Versuchs hat sich gezeigt, dass die Benutzungsschnittstelle mit geringem (kognitiven) Aufwand genutzt werden kann. Natürlich muss dabei berücksichtigt werden, dass es durch die Wizard-of-Oz Technik zu keinen ungeplanten Problemen bei der Positionsbestimmung kam. Solche Probleme wirken sich direkt auf den empfundenen Frustrationsgrad aus.

Die Auswertung der Evaluation, insbesondere des persönlichen Interviews, erfolgt anhand der bereits vorgestellten sieben Grundsätze der Dialoggestaltung aus der Norm ISO 9241-110.

Aufgabenangemessenheit Die Benutzungsschnittstelle ist insgesamt geeignet für die Erfüllung der Aufgabe. Für die Führung haben keine notwendigen Informationen gefehlt. Es wurde vom einen Probanden angegeben, dass es sinnvoll ist, das Gefahrensignal mit Richtung anzugeben, der andere Proband meinte, dass die Richtungsinformation nicht benötigt wird. Ein Proband gab an, dass in einem Bürogebäude mit vielen Zimmern ein Signal für Türen entlang des Weges sinnvoll sein könnte. Dies dürfte sich aber negativ auf die akustische Belastung des Nutzers auswirken, sollte also eher optional zuschaltbar sein. Nach dem anderen Probanden fällt dieser Wunsch in die Kategorie von Erkundungsfunktionen, die nicht von Bedeutung bei der Führung sind und nur optional angeboten werden sollten. Diese optionalen „nice-to-have“ Funktionen könnten ebenfalls Informationen über die Form des Raums, Bereichsnamen, Toiletten, Treppenhäuser usw. darstellen. Die Teilnehmer sagten, eine Wegbeschreibung und eine Raumbeschreibung sollten sprachlich ausgegeben werden, da dies besser zu merken sei.

Die Probanden gaben an, dass die Richtungswinkel sinnvoll gewählt seien und die Angabe der Orientierung auch hilfreich ist und von Mobilitätstrainern auch angegeben werden.

Die Wegbreite wurde von beiden Teilnehmern als geeignet bezeichnet. Ein Proband gab an, dass die Breite nicht größer sein sollte, aber auch nicht kleiner als zwei Meter.

Selbstbeschreibungsfähigkeit Der Dialog ist einfach gehalten, im Prototypen gab es nur den einen Führungsmodus. Das System benötigt keine Eingaben für die Führung außer der Positionsinformation. Falls der Nutzer zusätzliche Informationen benötigt, kann er die Hilfefunktion aufrufen.

Erwartungskonformität Die Signale entsprechen zwar nicht dem natürlichen Vokabular der Nutzer,

²URL:<http://www.measuringusability.com/sus.php> Stand: April 2013

sind aber konsistent gehalten. Die Rückmeldungen des Systems auf Positionsänderungen waren aufgrund der Wizard-of-Oz Technik unmittelbar und nicht irreführend. Beim Verbindung verloren Signal wurde vorgeschlagen, dieses durch ein Besetzt-Zeichen oder Aufgelegt-Zeichen des Telefons zu ersetzen, da es eher der Erwartung entsprechen würde.

Lernförderlichkeit Die Einführung in das System wurde im Test durch den Versuchsleiter vorgenommen. Bei einem Produktivsystem sollte dafür ein Tutorial angeboten werden, das dem Benutzer die Bedeutung der verschiedenen Signale und die Grundprinzipien, nach denen diese aufgebaut sind, vermittelt. In einem Einstellungsmenü könnten weitere Adaptierungen angeboten werden, um einzelne Signaltypen zu aktivieren bzw. deaktivieren oder selbst erstellte Sounds und Soundbibliotheken zu verwenden. Auch bisher nicht berücksichtigte Erkundungsfunktionen könnten in diesem Menü zuschaltbar sein.

Steuerbarkeit Abgesehen von der Hilfefunktion wurden im Versuch keine Funktionen zur Beeinflussung des Dialogablaufs verwendet. Dennoch sollten die Funktionen im Endprodukt enthalten sein, um auf unerwartete, externe Ereignisse reagieren zu können. Die Nutzer können die Dialoggeschwindigkeit durch ihre Bewegungsgeschwindigkeit selbst steuern. Bei unterschiedlicher Reaktionsgeschwindigkeit des Nutzers und Positionsbestimmungsgenauigkeit des Systems kann es sinnvoll sein, wenn der Nutzer selbst eine Feinjustierung vornehmen kann, in welchem Toleranzbereich das Richtungs- und das Gefahrensignal ertönen. Im Test hatten die Nutzer aber kein Problem damit, dass Richtungsänderungen nicht weit vorher angekündigt wurden, sondern erst an der Stelle, an der sie direkt ausgeführt werden konnten. Voraussetzung dafür ist natürlich, dass das System zuverlässig reagiert und es zu keiner Verzögerung der Ausgabe kommt. Ansonsten wären die Probanden schon zu weit, um richtig zu reagieren.

Fehlertoleranz Im Versuch hat sich das verwendete Fehlermanagement im großen und ganzen bewährt. Durch das Orientierungssignal und durch exakte Richtungsangaben wurden Wegabweichungen größtenteils vermieden. Bei den insgesamt zwei geplanten Abweichungen und einer ungeplanten Abweichung wurde der Nutzer schnell wieder auf den korrekten Weg zurückgeführt.

Individualisierbarkeit Im Versuch standen keine Funktionen zur Individualisierung des Dialogs zur Verfügung, um die Eignung des vorgeschlagenen Dialog überprüfen zu können. Eine Anpassung der Ausgaben an den Benutzer könnte durch das Anbieten von weiteren Ausgabemodalitäten geschehen. Im Einstellungsmenü könnten der taktile Kompass und sprachliche Signale zur Auswahl stehen. Auch die Modifizierung der Audiosignale könnte ermöglicht werden durch eine Auswahl von alternativen Signalbibliotheken oder durch das Zulassen der Verwendung von eigenen Audiosignalen.

Nun werden noch die verwendeten Signale nach den Kriterien für geeignete Signalmuster aus Abschnitt 5.1 ausgewertet.

Eindeutig identifizierbar: Die Signale konnten insgesamt gut voneinander unterschieden werden. Die Probanden gaben an, dass die Höhenunterschiede bei Richtungen gut gewählt sind, da sie gut erkennbar sind. Probleme gab es bei der Unterscheidung des Signals für Wegabweichung und dem Orientierungssignal. Es wurde bemängelt, dass die beiden Signale zu ähnlich seien. Es wurde vorgeschlagen, für das Orientierungssignal das „Ping“ eines aktiven Sonars zu verwenden. Bei der Richtungsbestimmung des Orientierungssignals hatte ein Proband Schwierigkeiten zwischen „geradeaus“ und „rechts“ zu unterscheiden. Es ist möglich, dass dies an den Kopfhörern lag. Bei der Richtungsevaluation hatten manche Probanden ähnliche Probleme, die durch eine Korrektur der Trageposition behoben werden konnten. Dennoch ist davon auszugehen, dass solche oder ähnliche Probleme in der Praxis häufiger auftreten können und Richtungshören damit eher empfindlich gegenüber äußeren Störungen ist.

Von der Umgebung unterscheidbar: Beim Entfernungssignal wurde bemängelt, dass es in lauten Umgebungen schwer zu hören sei. Dies zeigt, dass die Lautstärke eher ungeeignet ist für Naviga-

tionsanwendungen. Ebenfalls wurde angegeben, dass der Hall-Effekt nur schwer wahrzunehmen war. Eine Alternative dazu ist es, lediglich ein Richtungssignal für „geradeaus“ anzugeben, damit der Nutzer auf seinem Weg bestätigt wird. Von einem Versuchsteilnehmer wurde vorgeschlagen, die Entfernung durch die Häufigkeit eines einfachen Signals darzustellen. Dieses Signal würde nach dem ersten Viertel des Weges dreimal, nach der Hälfte zweimal und nach Dreiviertel einmal ertönen. Es wurde auch angegeben, dass das Gefahrengeräusch leicht überhört werden könnte, da es sehr tief ist. Ein Teilnehmer schlug vor, die Warnung nur über Vibration auszugeben. Dies wäre für den anderen Teilnehmer allerdings nicht geeignet gewesen, da er das Gerät bei der Führung in der Hosentasche tragen wollte. Er schlug stattdessen vor, das Intervall des Gefahrengeräuschs wie beim Ziel-erreicht-Signal durch ein Arpeggio aufzulösen, damit es besser zu hören ist.

Geringe Maskierungseffekte: Es wurde gelobt, dass die Signale kurz gehalten sind und effizient die Information übermitteln. Dennoch gab ein Proband an, dass wohl während der Navigation keine Gespräche mit anderen möglich seien. Außerdem sollte das Orientierungssignal sparsam eingesetzt werden, also nur an Stellen an denen dies sinnvoll ist. Beispielsweise braucht man das Signal bei schmalen Gängen, die keine großen Hindernisse und Gefahren besitzen, nicht auszugeben. Außerdem wurde vorgeschlagen bei Bereichsübergängen die sprachliche Ausgabe möglichst durch Auditory Icons zu ersetzen. Bei Treppen und Türen wäre dies gut möglich.

Leicht erlernbar: Die Signale konnten von beiden Nutzern in kurzer Zeit erlernt werden. Ein Proband konnte durch seine musikalische Vorerfahrung die meisten Signale nach dem ersten Hören problemlos zuordnen. Die Signale wurden als nicht angenehm, aber akzeptabel bezeichnet, da sie die Information kurz und eindeutig übermitteln.

Leicht verständlich: Das Verstehen der Signalmuster sollte ohne große geistige Anstrengung möglich sein. Wenn ein Nutzer erst lange überlegen muss, was ein Signal bedeutet, lenkt dies stark von der Umgebung ab und es kann sein, dass dadurch Gefahren nicht erkannt werden. Da die Signale recht kurz geübt wurden, mussten insbesondere am Anfang der Führung die Probanden kurz über die Bedeutung nachdenken. Dies verbesserte sich aber noch im Laufe der etwa 10 minütigen Führung soweit, dass sie später nicht mehr ins Stocken kamen.

7.4 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurde bei der Evaluation der Benutzungsschnittelle festgestellt, dass mit der Konzeption eine effektive, effiziente und zufriedenstellende Aufgabenerfüllung möglich ist. Schwächen zeigten sich bei der Ähnlichkeit des Orientierungs- und des Wegabweichungssignals.

8 Fazit

In dieser Arbeit wurde eine Benutzungsschnittstelle für die nicht-verbale akustische Führung erstellt und evaluiert. Dafür wurde in Kapitel 1 zunächst die Aufgabenstellung motiviert.

Kapitel 2 beschäftigte sich mit der Mobilität von Blinden und Sehbehinderten, wie sie sich in der Umgebung orientieren, welche Probleme dabei auftreten und wie sie ihre Bewegungsfreiheit durch elektronische Hilfsmittel mit den Ansätzen Object Avoidance, Sensory Substitution, nicht visuelle Karten und Navigationssysteme verbessern können.

In Kapitel 3 wurde die Sonifikation unter die Lupe genommen. Es wurden verschiedene Techniken zur Sonifikation vorgestellt, deren Intuitivität betrachtet und die Möglichkeiten der akustischen Gestaltung durch Wahrnehmungspsychologie, klassische Musik, elektronische Klangsynthese sowie Signaltheorie recherchiert. Das Ergebnis war ein Gestaltungsraum von Signalmustern zur Darstellung verschiedener Arten von Informationen.

Kapitel 4 behandelte die Voraussetzungen und Anforderungen einer Nutzerschnittstelle für die Fußgängernavigation. Es wurden Techniken der Positionsbestimmung und der Routengenerierung angesprochen und die sich daraus ergebenden Möglichkeiten zur non-verbalen Führung abgeleitet. Danach wurden die Anforderungen an eine Nutzerschnittstelle zur Fußgängernavigation aufgestellt.

Kapitel 5 befasste sich mit der geeigneten Darstellung von Richtungen. Es wurden Kriterien für die Signale aufgestellt, anhand derer vielversprechende Signalmuster ausgewählt und durch einen Laborversuch auf ihre Eignung überprüft wurden. Dabei wurde festgestellt, dass Richtungen mit den auditiven Parameter Tonhöhe (bei fünf Richtungen) und Stereopanorama (bei 3 Richtungen) gut angegeben werden können.

Anhand der Ergebnisse aus den vorherigen Kapiteln wurde in Kapitel 6 eine Konzeption für eine Nutzerschnittstelle für die dynamische Fußgängernavigation erstellt. Dafür wurde zunächst eine grundlegende Menüstruktur vorgestellt und Möglichkeiten zur Präsentation von Umgebung und Route aufgezeigt und diskutiert. Es wurde ein Konzept für die dynamische Führung durch turn-by-turn Anweisungen aufgestellt, das den Anwender durch Hinweise auf Orientierungskanten und Wegabweichungen auf der Spur hält. Abschließend wurden passende Signalmuster für die Informationen ausgewählt.

Kapitel 7 handelt von der durchgeführten Pilot-Studie. Durch einen Wizard-of-Oz Test mit einem Lo-Fi Prototypen wurde die Gebrauchstauglichkeit der Nutzerschnittstelle zur Führung von blinden Menschen evaluiert. Es hat sich gezeigt, dass mit der entstandenen Benutzungsschnittstelle Anwender ohne größere Belastung an ihr Ziel geführt werden können. Für die Schwachstellen des Konzepts werden im folgenden Ausblick Lösungsansätze beschrieben.

Ausblick

Zur Verbesserung des User Interface wird vorgeschlagen, die Unterscheidbarkeit des Orientierungssignals und des Wegabweichungssignals zu erhöhen, indem das Wegabweichungssignal mit der Richtungsinformation parametrisiert wird. Dazu wird der Akkord des Wegabweichungssignals mit einem Arpeggio aufgelöst und die Tonhöhe als Richtungsangabe verwendet. Bei einer Wegabweichung links wird erst der tiefe, dann der hohe Ton des Intervalls gespielt, bei der Wegabweichung rechts in umgekehrter Reihenfolge.

Das Konzept der non-verbalen Wegführung kann auch für Systeme mit geringerer Genauigkeit der Posi-

tionsbestimmung angepasst werden. Dafür muss auf geringe Wegkorrekturen verzichtet werden, da erst auf größere Wegabweichungen reagiert werden kann. Dies dürfte aber kein größeres Problem sein. Im Probandentest sind die Versuchsteilnehmer nie seitlich vom Weg abgekommen und durch sprachliche Weg- und Umgebungsbeschreibungen können zusätzliche Orientierungshilfen angeboten werden.

Soundverzeichnis

Alle aufgelisteten Sounds befinden sich auf der CD im Verzeichnis Soundbeispiele unter <Referenz>.wav.

REFERENZ	BESCHREIBUNG
♪Eva1	Klarinette (Midi Ch. 71) mit Parameter Lage (Stereopanorama)
♪Eva2	Klarinette (Midi Ch. 71) mit Parameter Dauer
♪Eva3	Klarinette (Midi Ch. 71) mit Parameter Tonhöhe
♪Eva4	Synthesizer Dreiecksschwingung mit Parameter Lage (Stereopanorama)
♪Eva5	Synthesizer Dreiecksschwingung mit Dauer
♪Eva6	Synthesizer Dreiecksschwingung mit Parameter Tonhöhe
♪Eva8	Synthetische Sprachausgabe
♪Eva10	Hintergrundgeräusch
♪Konzept1	Raumüberblick Variante 1
♪Konzept2	Raumüberblick Variante 2
♪Konzept3	Wegbeschreibung Variante 1
♪Konzept4	Wegbeschreibung Variante 2
♪Nav00	Richtung links
♪Nav01	Richtung halbelinks
♪Nav02	Richtung geradeaus
♪Nav03	Richtung halbrechts
♪Nav04	Richtung rechts
♪Nav05	Richtung nach hinten
♪Nav06	Orientierung
♪Nav07	Gefahr
♪Nav08	Ziel erreicht
♪Nav09	Verbindung verloren
♪Nav10	Wegabweichung
♪Nav11	Entfernung 1
♪Nav12	Entfernung 2
♪Nav13	Entfernung 3

Literaturverzeichnis

- [AJMN13] AMER, T. S. ; JOHNSON, Todd L. ; MARIS, Jo-Mae B. ; NEAL, Gregory L.: The Perceived Hazard of Earcons in Information Technology Exception Messages: The Effect of Musical Dissonance/Consonance and Pitch. In: *Interacting with Computers* 25 (2013), Nr. 1, S. 48–59
- [Anw11] ANWANDER, Florian: *Synthesizer / So funktioniert elektronische Klangerzeugung*. 6. Aufl. Bergkirchen : PPV Medien, 2011
- [Ber05] BERTRAM, Bernd: Häufigkeit und Ursachen von Blindheit und Sehbehinderung in Deutschland. In: *Der Augenarzt, Aachen* (Dezember 2005), S. 267–268
- [BK02] BOLLMANN, Jürgen (Hrsg.) ; KOCH, Wolf G. (Hrsg.): *Lexikon der Kartographie und Geomatik - 2 : Karto bis Z*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg - Berlin, 2002
- [Bre03] BREWSTER, Stephen: *The human-computer interaction handbook*. Hillsdale, NJ, USA : L. Erlbaum Associates Inc., 2003. – ISBN 0–8058–3838–4, Kapitel Nonspeech auditory output, S. 220–239
- [Bro96] BROOKE, J.: SUS: a quick and dirty usability scale. In: JORDAN, P. W. (Hrsg.) ; THOMAS, B. (Hrsg.) ; WEERDMEESTER, B. A. (Hrsg.) ; MCCLELLAND, A. L. (Hrsg.): *Usability Evaluation in Industry*. Taylor and Francis, London, 1996
- [BSG89] BLATTNER, Meera M. ; SUMIKAWA, Denise A. ; GREENBERG, Robert M.: Earcons and icons: their structure and common design principles. In: *Hum.-Comput. Interact.* 4 (1989), Nr. 1, S. 11–44
- [BWE95] BREWSTER, S. A. ; WRIGHT, P. C. ; EDWARDS: Experimentally derived guidelines for the creation of earcons. In: *In Adjunct Proceedings of HCI'95, Huddersfield, UK, 1995*
- [CDS+11] CHUNG, Jaewoo ; DONAHOE, Matt ; SCHMANDT, Chris ; KIM, Ig-Jae ; RAZAVAI, Pedram ; WISEMAN, Micaela: Indoor location sensing using geo-magnetism. In: *Proceedings of the 9th international conference on Mobile systems, applications, and services*. New York, NY, USA : ACM, 2011 (MobiSys 2011), S. 141–154
- [DE11] Kap. 12. Audification In: DOMBOIS, Florian ; ECKEL, Gerhard: *The Sonification Handbook*. siehe [HHN11]
- [Deu07] Deutsche Telekom AG, T-Com: *Technische Beschreibung der Analogen Wählanschlüsse am T-Net/ISDN der T-Com (1 TR 110 - 1)*. 2007
- [DS82] DOWNS, Roger ; STEA, David: *Kognitive Karten: Die Welt in unseren Köpfen*. Harper & Row, New York, 1982
- [Gav86] GAVER, William W.: Auditory icons: using sound in computer interfaces. In: *Hum.-Comput. Interact.* 2 (1986), Juni, Nr. 2, S. 167–177
- [GBO08] GARZONIS, Stavros ; BEVAN, Chris ; O'NEILL, Eamonn: Mobile service audio notifications: intuitive semantics and noises. In: *Proceedings of the 20th Australasian Conference on Computer-Human Interaction: Designing for Habitus and Habitat*. New York, NY, USA : ACM, 2008 (OZCHI '08), S. 156–163
- [GLN09] GU, Yanying ; LO, A. ; NIEMEGEERS, I.: A survey of indoor positioning systems for

- wireless personal networks. In: *Communications Surveys Tutorials, IEEE* 11 (2009), Nr. 1, S. 13–32
- [GMC98] GOLLEDGE, Reginald G. ; MARSTON, James R. ; COSTANZO, C. M.: *Assistive Devices and Services for the Disabled: Auditory Signage and The Accessible City for Blind or Vision Impaired Travelers* / Department of Geography, University of California, Santa Barbara. 1998. – Forschungsbericht
- [Gol08] GOLDSTEIN, E. B.: *Wahrnehmungspsychologie - Der Grundkurs*. 7. Spektrum Akademischer Verlag, 2008
- [Gör08] GÖRNE, Thomas ; SCHMIDT, Ulrich (Hrsg.): *Tontechnik*. 2. München : Carl Hanser Verlag, 2008
- [Gri08] GRIMES, John: *GPS Standard Positioning Service (SPS) Performance Standard - 4th Edition* / US Department of Defence. 2008. – Forschungsbericht
- [Haa12] HAASE, Susanne: *Routenplanung in Gebäuden für blinde und sehbehinderte Fußgänger*, Technische Universität Dresden, Diplomarbeit, 2012
- [Hen10] HENNIG, Maria: *Skript zur Einführung in die Methoden der empirischen Sozialforschung*. 2010. – URL: [http://www.marinahennig.de/Lehrerweiterbildung 2010/Skript zur Einfuehrung in die Methoden der empirischen Sozialforschungx.pdf](http://www.marinahennig.de/Lehrerweiterbildung%202010/Skript%20zur%20Einfuehrung%20in%20die%20Methoden%20der%20empirischen%20Sozialforschungx.pdf) Stand: Februar 2013
- [Her08] HERMANN, T.: Taxonomy and definitions for sonification and auditory display. In: *Proceedings of the 14th International Conference on Auditory Display*. Paris, Frankreich, 2008
- [Her11] Kap. 16. Model-Based Sonification In: HERMANN, T.: *The Sonification Handbook*. siehe [HHN11]
- [HHB07] HEUTEN, Wilko ; HENZE, Niels ; BOLL, Susanne: Interactive exploration of city maps with auditory torches. In: *CHI '07 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA : ACM, 2007 (CHI EA '07). – ISBN 978–1–59593–642–4, S. 1959–1964
- [HHN11] HERMANN, Thomas (Hrsg.) ; HUNT, Andy (Hrsg.) ; NEUHOFF, John G. (Hrsg.): *The Sonification Handbook*. 1. Berlin : Logos Publishing House, 2011
- [HMG02] HOLLAND, Simon ; MORSE, David R. ; GEDENRYD, Henrik: AudioGPS: Spatial Audio Navigation with a Minimal Attention Interface. In: *Personal Ubiquitous Comput.* 6 (2002), Januar, Nr. 4, S. 253–259
- [HR99] HERMANN, T. ; RITTER, H.: Listen to your Data: Model-Based Sonification for Data Analysis. In: *Int. Inst. for Advanced Studies in System research and cybernetics*, 1999, S. 189–194
- [HR05] HERMANN, Thomas ; RITTER, Helge: Model-based sonification revisited—authors' comments on Hermann and Ritter, ICAD 2002. In: *ACM Trans. Appl. Percept.* 2 (2005), Oktober, Nr. 4, S. 559–563
- [HWB06] HEUTEN, Wilko ; WICHMANN, Daniel ; BOLL, Susanne: Interactive 3D sonification for the exploration of city maps. In: *Proceedings of the 4th Nordic conference on Human-computer interaction: changing roles*. New York, NY, USA : ACM, 2006 (NordiCHI '06). – ISBN 1–59593–325–5, S. 155–164
- [ICAD02] ICAD (Veranst.): *Auditory Seismology: on free oscillations, focal mechanisms, explosions and synthetic seismograms*. 2002
- [ISOa] *Ergonomie der Mensch-System-Interaktion - Teil 110: Grundsätze der Dialoggestaltung (ISO 9241-110:2006); Deutsche Fassung EN ISO 9241-110:2006*
- [ISOb] *Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten - Teil 11: Anforder-*

- derungen an die Gebrauchstauglichkeit - Leitsätze (ISO 9241-11:1998) Deutsche Fassung EN ISO 9241-11:1998*
- [ISOc] *Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten - Teil 12: Informationsdarstellung ISO 9241-12:1998; Deutsche Fassung EN ISO 9241-12:1998*
- [Jac93] JACOBSON, William H.: *The art and science of teaching orientation and mobility to persons with visual impairments*. AFB Press, 1993
- [JC04] JANATA, Petr ; CHILDS, Edward: Marketbuzz: Sonification of Real-Time Financial. In: BARRASS, Stephen (Hrsg.) ; VICKERS, Paul (Hrsg.): *Proceedings of International Conference of Auditory Display (ICAD 2004)*, International Community for Auditory Display, 2004
- [JJB⁺08] JONES, Matt ; JONES, Steve ; BRADLEY, Gareth ; WARREN, Nigel ; BAINBRIDGE, David ; HOLMES, Geoff: ONTRACK: Dynamically adapting music playback to support navigation. In: *Personal Ubiquitous Comput.* 12 (2008), Oktober, Nr. 7, S. 513–525
- [Kes12] KESTEL, Johannes: *Das Smartphone zur Umgebungserkundung für Blinde und Sehbehinderte*, Technische Universität Dresden, Großer Beleg, 2012
- [Kry94] KRYGIER, J. B.: Sound and Geographic Visualization. In: *MacEachren, Alan and Taylor, D.R.F. (Hrsg.). Visualization in Modern Cartography*. Pergamon, New York (1994), S. 149–166
- [KWB⁺10] KRAMER, G. ; WALKER, B. ; BONEBRIGHT, T. ; COOK, P. ; FLOWERS, J. ; MINER, N. ; NEUHOFF: Sonification report: Status of the field and research agenda / Prepared for the National Science Foundation by members of the International Community for Auditory Display. 2010. – Forschungsbericht
- [LGK98] LOOMIS, Jack M. ; GOLLEDGE, Reginald G. ; KLATZKY, Roberta L.: Navigation System for the Blind: Auditory Display Modes and Guidance. In: *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* 7 (1998), April, Nr. 2, S. 193–203
- [LL11] LILJEDAHL, Mats ; LINDBERG, Stefan: Sound parameters for expressing geographic distance in a mobile navigation application. In: *Proceedings of the 6th Audio Mostly Conference: A Conference on Interaction with Sound*. New York, NY, USA : ACM, 2011 (AM '11), S. 1–7
- [LMGK05] LOOMIS, Jack M. ; MARSTON, J. R. ; GOLLEDGE, Reginald G. ; KLATZKY, Roberta L.: Personal guidance system for people with visual impairment: A comparison of spatial displays for route guidance. In: *Journal of Visual Impairment & Blindness* 99(4) (2005), S. 219–232
- [LS99] LUMBRERAS, Maruricio ; SÁNCHEZ, Jaime: Interactive 3D sound hyperstories for blind children. In: *Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA : ACM, 1999 (CHI '99). – ISBN 0–201–48559–1, S. 318–325
- [MB04] MCGOOKIN, David K. ; BREWSTER, Stephen A.: Understanding concurrent earcons: Applying auditory scene analysis principles to concurrent earcon recognition. In: *ACM Trans. Appl. Percept.* 1 (2004), Nr. 2, S. 130–155
- [MB09] MCGOOKIN, David ; BREWSTER, Stephen: Eyes-free overviews for mobile map applications. In: *Proceedings of the 11th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*. New York, NY, USA : ACM, 2009 (MobileHCI '09). – ISBN 978–1–60558–281–8, S. 87:1–87:2
- [MBJ85] MANSUR, Douglass L. ; BLATTNER, Merrra M. ; JOY, Kenneth I.: Sound graphs: A numerical data analysis method for the blind. In: *Journal of Medical Systems* 9 (1985), S.

163–174

- [MSW11] MIAO, Mei ; SPINDLER, Martin ; WEBER, Gerhard: Requirements of indoor navigation system from blind users. In: *Proceedings of the 7th conference on Workgroup Human-Computer Interaction and Usability Engineering of the Austrian Computer Society: information Quality in e-Health*. Berlin, Heidelberg : Springer-Verlag, 2011 (USAB'11). – ISBN 978-3-642-25363-8, S. 673–679
- [Osw12] Kap. Semiotik auditiver Interfaces. Zur Geschichte von Gestaltung und Rezeption auditiver Zeichen in Computer-Interfaces In: OSWALD, David: *Das geschulte Ohr. Eine Kulturgeschichte der Sonifikation*. Bielefeld : Transcript Verlag, 2012, S. 243–264
- [PB10] PIELOT, Martin ; BOLL, Susanne: Tactile Wayfinder: Comparison of Tactile Waypoint Navigation with Commercial Pedestrian Navigation Systems. In: FLORÉEN, Patrik (Hrsg.) ; KRÜGER, Antonio (Hrsg.) ; SPASOJEVIC, Mirjana (Hrsg.): *Pervasive Computing* Bd. 6030. Springer Berlin Heidelberg, 2010. – ISBN 978-3-642-12653-6, S. 76–93
- [PHHB07] PIELOT, Martin ; HENZE, Niels ; HEUTEN, Wilko ; BOLL, Susanne: Tangible User Interface for the Exploration of Auditory City Maps. In: OAKLEY, Ian (Hrsg.) ; BREWSTER, Stephen (Hrsg.): *Haptic and Audio Interaction Design* Bd. 4813. Springer Berlin Heidelberg, 2007. – ISBN 978-3-540-76701-5, S. 86–97
- [PJS+97] PETRIE, Helen ; JOHNSON, Valerie ; STROTHOTTE, Thomas ; RAAB, Andreas ; MICHEL, Rainer ; REICHERT, Lars ; SCHALT, Axel: MoBIC: An Aid to Increase the Independent Mobility of Blind Travellers. In: *British Journal of Visual Impairment* 15 (1997), Nr. 2, S. 63–66
- [PPHB11] PIELOT, Martin ; POPPINGA, Benjamin ; HEUTEN, Wilko ; BOLL, Susanne: A tactile compass for eyes-free pedestrian navigation. In: *Proceedings of the 13th IFIP TC 13 international conference on Human-computer interaction - Volume Part II*. Berlin, Heidelberg : Springer-Verlag, 2011 (INTERACT'11). – ISBN 978-3-642-23770-6, S. 640–656
- [PPHB12] PIELOT, Martin ; POPPINGA, Benjamin ; HEUTEN, Wilko ; BOLL, Susannes: PocketNavigator: studying tactile navigation systems in-situ. In: *Proceedings of the 2012 ACM annual conference on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA : ACM, 2012 (CHI '12). – ISBN 978-1-4503-1015-4, S. 3131–3140
- [RHM04] RAN, L. ; HELAL, S. ; MOORE, S.: Drishti: an integrated indoor/outdoor blind navigation system and service. In: *Proc. Second IEEE Annual Conf. Pervasive Computing and Communications PerCom 2004*. Washington, DC, USA : IEEE Computer Society, 2004 (PERCOM '04), S. 23–30
- [Roe00] ROEDERER, Juan: *Physikalische und psychologische Grundlagen der Musik*. 3. Springer Berlin / Heidelberg, 2000
- [RRH11] RÜMELIN, Sonja ; RUKZIO, Enrico ; HARDY, Robert: NaviRadar: a novel tactile information display for pedestrian navigation. In: *Proceedings of the 24th annual ACM symposium on User interface software and technology*. New York, NY, USA : ACM, 2011 (UIST '11). – ISBN 978-1-4503-0716-1, S. 293–302
- [rTK03] BACH-Y RITA, Paul ; TYLER, Mitchell E. ; KACZMAREK, Kurt A.: Seeing with the Brain. In: *International Journal of Human-computer Interaction* 15 (2003), S. 285–295
- [Ser12] SERFLING, Philipp: *Sonifikation in Umsteigegebäuden*, Technische Universität Dresden, Großer Beleg, 2012
- [Spe61] SPEETH, S. D.: Seismometer Sounds. In: *Journal of the Acoustical Society of America* 33 (1961), S. 909–916

- [SSR09] SÁNCHEZ, Jaime ; SÁENZ, Mauricio ; RIPOLL, Miguel: Usability of a multimodal videogame to improve navigation skills for blind children. In: *Proceedings of the 11th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility*. New York, NY, USA : ACM, 2009 (Assets 2009), S. 35–42
- [SW12] SCHIEWE, Jochen ; WENINGER, Beate: Akustische Kodierung quantitativer Information in Karten - Ergebnisse einer Studie zum Vergleich mit klassischen Darstellungsformen. In: *Deutsche Gesellschaft für Kartographie e.V.(Hrsg.). Kartographische Nachrichten. Kirschbaum Verlag GmbH, Bonn 3.* (2012), S. 126–135
- [SWP⁺12] SPINDLER, Martin ; WEBER, Michael ; PRESCHER, Denise ; MIAO, Mei ; WEBER, Gerhard ; IOANNIDIS, Georgios: Translating Floor Plans into Directions. In: MIESENBERGER, Klaus (Hrsg.) ; KARSHMER, Arthur (Hrsg.) ; PENAZ, Petr (Hrsg.) ; ZAGLER, Wolfgang (Hrsg.): *Computers Helping People with Special Needs* Bd. 7383. Springer Berlin Heidelberg, 2012. – ISBN 978–3–642–31533–6, S. 59–66
- [vst] *Verordnung des Sächsischen Staatsministeriums des Innern über den Bau und Betrieb von Versammlungsstätten (Sächsische Versammlungsstättenverordnung - SächsVStättVO)*
- [WJL03] WANG, Y. ; JIA, X. ; LEE, H.K.: An indoors wireless positioning system based on wireless local area network infrastructure. In: *The 6th International Symposium on Satellite Navigation Technology Including Mobile Positioning & Location Services*, 2003
- [WN11] Kap. 2. Theory of Sonification In: WALKER, Bruce N. ; NESS, Michael A.: *The Sonification Handbook*. siehe [HHN11]
- [WNL06] WALKER, B. N. ; NANCE, A. ; LINDSAY, J.: Spearcons: Speech-based earcons improve navigation performance in auditory menus. In: *Proceedings of the 12th International Conference on Auditory Display*. London, England, 2006, S. 63–68
- [ZPSL08] ZHAO, Haixia ; PLAISANT, Catherine ; SHNEIDERMAN, Ben ; LAZAR, Jonathan: Data Sonification for Users with Visual Impairment: A Case Study with Georeferenced Data. In: *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.* 15 (2008), Mai, Nr. 1, S. 4:1–4:28. – ISSN 1073–0516

Abbildungsverzeichnis

2.1	Wahrnehmung von Objekten in großen Hallen	11
2.2	Blinde Benutzerin bei der Verwendung von The vOICe.	12
2.3	Auditory Map und Auditory Torch	13
3.1	Additive Klangerzeugung	18
3.2	Hörschwelle, Fühlschwelle und Isophone	19
3.3	Frequenzspektren von drei Musikinstrumenten	20
3.4	A/D- und D/A-Wandler	27
3.5	Kurvenformen analoger Oszillatoren	31
3.6	Taktiler Kompass	34
4.1	Route in einem Gebäudeplan	38
5.1	Screenshots der Versuchsanwendung für den Labortest	50
5.2	Proband bei der Evaluation	51
5.3	Erfolgsquoten nach Winkelgröße unterteilt	53
5.4	Resultate bei 45° Winkelgröße	54
5.5	Antwortzeiten und Reaktionszeiten	55
5.7	Bewertung der Angenehmheit der Basissignale	55
5.6	Resultate des Fragebogens	56
6.1	Benutzungsoberfläche	59
6.2	Beispielszene für die Raumbeschreibung	61
6.3	Variante 1: Raumbeschreibung durch Parameter-Mapping	61
6.4	Variante 2: Raumbeschreibung „Sonar“	62
6.5	Beispielszene für die Wegbeschreibung	63
6.6	Signale bei der Zielführung	64
6.7	Beispielführung mit zwei kleineren und einer größeren Wegabweichung	65
6.8	Mögliche Richtungsanweisungen	67
7.1	Anwendungsrahmen für Gebrauchstauglichkeit	71
7.2	Probanden und Versuchsleiter beim Pilottest	73

Tabellenverzeichnis

2.1	Stufen der Sehbeeinträchtigung	5
2.2	Wahrnehmungen der Umwelt durch Sinnesorgane	9
3.1	Eine semiotikbasierte Systematik der auditiven Zeichen in Computer-Interfaces	26
3.2	Akustische Parameter und ihre Eignung zur Abbildung von Variablenkalen	32
5.1	Auflistung der verwendeten Basissignale und Parameter	49

A Anhang

A.1 Befragungsbogen Richtungsdarstellung

Fragebogen Labortest

Proband:

Tragen Sie hier die erwähnten Richtungen der Wegbeschreibungen in der richtigen Reihenfolge ein (**links, rechts, geradeaus**):

Antworten zu 1:

Wie alt sind Sie?

Welches Geschlecht haben Sie?

Antworten zu 2:

Sind Sie Rechts- oder Linkshänder?

Was ist ihr Beruf / Studiengang?

Antworten zu 3:

Benutzen Sie regelmäßig ein Smartphone, Tablet oder anderes Gerät mit Touchdisplay?

Antworten zu 4:

Haben Sie ein Musikinstrument erlernt, wenn ja, welche?

Antworten zu 5:

Spielen Sie regelmäßig ein Musikinstrument, wenn ja, wie viele und welche?

Antworten zu 6:

Bemerkungen und Kommentare:

Antworten zu 7:

Antworten zu 8:

Antworten zu 9:

Wie gut sind die Signale/Muster **voneinander unterscheidbar**?

(1=sehr leicht, 5=sehr schwer)

	1	2	3	4	5
Klarinette Lage					
Klarinette Dauer					
Klarinette Höhe					
Synthesizer Lage					
Synthesizer Dauer					
Synthesizer Höhe					
Stimme					
Vibration					
Zusatztest					

Wie gut sind die Signale/Muster **vom Hintergrund unterscheidbar**?

(1=sehr leicht, 5=sehr schwer)

	1	2	3	4	5
Klarinette Lage					
Klarinette Dauer					
Klarinette Höhe					
Synthesizer Lage					
Synthesizer Dauer					
Synthesizer Höhe					
Stimme					
Vibration					
Zusatztest					

Wie schwierig empfanden Sie die **geistige Anstrengung**, die Signale zu interpretieren?

(1=sehr einfach, 5=sehr schwer)

	1	2	3	4	5
Klarinette Lage					
Klarinette Dauer					
Klarinette Höhe					
Synthesizer Lage					
Synthesizer Dauer					
Synthesizer Höhe					
Stimme					
Vibration					
Zusatztest					

Welches Signal/Muster würden Sie **bei einer Fußgängernavigation bevorzugen**?

(1=gefällt mir sehr gut, 5=gefällt mir absolut nicht)

	1	2	3	4	5
Klarinette Lage					
Klarinette Dauer					
Klarinette Höhe					
Synthesizer Lage					
Synthesizer Dauer					
Synthesizer Höhe					
Stimme					
Vibration					
Zusatztest					

Wie **angenehm** ist das Signal auf Dauer?

(1 = sehr angenehm, 5 = sehr unangenehm)

	1	2	3	4	5
Klarinette					
Synthesizer					
Stimme					
Vibration					

Bewerten Sie folgende Aussagen mit 1-5:

(1=Stimme ich zu, 5 = Stimme ich nicht zu)

- Bei allen Mustern müsste das erste Signale für die Richtung rechts stehen.
- Beim Muster Dauer sollte eine größere Richtungsänderung durch eine kürzere Signaldauer dargestellt werden.
- Bei den Tonhöhen sollte ein tieferer Ton eine größere Richtungsänderung bedeuten.

Text 1:

Hallo! Ich suche ab sofort einen neuen Mitbewohner für meine gemütliche WG in Dresden. Ich studieren Wirtschaftswissenschaften und bin ein Ordnungsliebender Mensch der gerne auch mal was nettes mit Freunden unternimmt. Dein Zimmer ist ca. 15m² groß und momentan noch grün getrichen. Das kannst du natürlich nach Lust und Belieben ändern, dabei wäre ich dir auch gern behilflich. Beim Betreten des Zimmer siehst du **geradeaus** auf ein großes Fenster, durch welches auch im Winter viel Sonne strahlt. **Rechts** davon befindet sich ein graues Sofa, welches du gerne übernehmen kannst. Dein Zimmer liegt am Ende des Flures. Die kleine aber feine Küche **links** von deinem Zimmer bietet einen wunderschönen Blick auf der Innenhof. Hier kann im Sommer gegrillt und Tischtennis gespielt werden. Weiterhin gehören zu der Wohnung ein Keller und ein Dachboden, der sich gut zum Wäsche trocknen macht! Falls dir das Zimmer zusagt, melde dich schnell bei mir ich freue mich auf deine Anfrage! Telefonisch bin ich unter folgender Nummer erreichbar: 0351/ 1237654

Text 2:

Mit der S-Bahn fahren Sie bis zum Hauptbahnhof. Begeben sie sich von den Gleisen zur großen Eingangshalle, in der sich verschiedene Verkaufsgeschäfte befinden. Gehen sie **geradeaus** durch den Vordereingang heraus zu den Taxisständen. Überqueren Sie die gepflasterte Straße und warten sie auf die nächste Straßenbahn Nummer 3 in Richtung Coschütz. Fahren Sie bist zur Haltestelle Plauen. Dort ausgestiegen, laufen sie in Fahrtrichtung der Straßenbahn **links** die Nöthnitzerstraße entlang, bis sie **rechts** von sich ein grünliches Gebäude sehen. Nun stehen sie vor dem Informatikgebäude. Im hinteren Teil befindet sich das Studentencafé ASCII. Dort gibt es günstig, guten Kaffee, Mate und Bagels.

Text 3:

Tom war sehr nervös. Noch wenige Momente bis zum Beginn der Prüfung. Er ging in seinem Kopf nochmal sämtliche Formeln durch. Wie war nochmal die Drehung der negativen Moments? **Links?** Oder war das die vom Positiven. Zu Spät der Professor begann die Prüfungsbögen auszuteilen. Stocksteif klopfte Toms Herz schwer in seinem Brustkorb. Er fühlte sich von den Aufsehern beobachtet. **Geradeaus** kam der Professor auf ihn zu und gab ihm die Angabenblätter. Los geht's! Schnell beginnt er mit der ersten Aufgabe. **Links** auf der Seite des Blattes ist die dazugehörige Versuchsanordnung aufgezeichnet. Was ist nur mit ihm los, sein Kopf ist wie leergefegt. Schnell zur nächsten Aufgabe. Mussten wir das wirklich alles lernen? Tom wird immer unruhiger und trinkt ein paar Schluck aus seiner halben Liter Flasche. Na hoffentlich geht das gut.

Text 4:

Der große Garten befindet sich circa 1,2 km **rechts** vom Dresdner Stadtzentrum und ist die größte Parkanlage der Stadt. Die beiden großen Hauptachsen erschließen den Garten. Im Sommer sind hier oft Jogger und Inlineskater anzutreffen. Um zum Mosaikbrunnen zu gelangen empfiehlt es sich an der Haltestelle "großer Garten" auszusteigen. **Geradeaus** folgt man der Hauptachse in Richtung Palais. Die Gleise der Parkeisenbahn sind dabei zu überqueren. Falls man lieber etwas ruhiger gehen will kann man auch die Nebenstraße **rechts** der Hauptachse wählen. Nach etwa 250 m muss man um 90 Grad nach **Rechts** abbiegen. Direkt vor einem liegt das Ziel. Der Mosaikbrunnen wurde anlässlich der Internationalen Gartenbauausstellung von 1926 nach einem Entwurf von Hans Poelzig im Stil des Art Déco errichtet. Seine schimmernden Farben sind seit eh und je ein Anziehungspunkt für viele Touristen.

Text 5:

Sie fahren mit der S-Bahn bis zum Marienplatz, steigen dort aus, fahren mit der Rolltreppe nach oben, stehen dann auf dem Marienplatz und drehen sich so, dass vor Ihnen das Rathaus steht. Dann gehen Sie **rechts**, am Fischbrunnen vorbei, biegen dann zwischen Rathaus und „Ludwig Beck“ **links** ab, gehen die Straße immer **geradeaus**, kommen am Feinkostladen „Dallmayr“ vorbei. Vielleicht hat der Laden etwas mit Kaffee zu tun. Nun laufen sie noch 200 Meter, biegen **rechts** ab, gehen über die Straße und stehen dann direkt vor der Oper. Seit ihrer Gründung vor über 130 Jahren haben die Münchner Opernfestspiele nichts von ihrer Anziehungskraft verloren: Wenn Ende Juni 2013 wieder das international traditionsreichste Festival seiner Art beginnt, machen sich Opernfreunde aus München, Deutschland und aller Welt auf, um ihre Begeisterung für Musiktheater miteinander zu teilen.

(Quelle: URL: http://www.koloss3.mykowi.net/index.php?option=com_content&view=article&id=292 Stand: Februar 2013)

Text 6:

Samstag Nachmittag. Franziska ist auf dem Weg zum Supermarkt. Im Kopf geht sie noch einmal ihre imaginäre Einkaufsliste durch... Milch, Kaffee, etwas Obst und Gemüse. Im Gedanken versunken verpasst sie fast nach **rechts** die große Straße entlang abzubiegen. **Geradeaus** vor ihr liegt nun der Supermarkt. Als sie ihn Betritt blendet sie das grelle Licht der Neonröhren. Sie versucht sich zu orientieren. Wo war nochmal die Milch? Sie nimmt sich einen Einkaufskorb und läuft die Regale entlang. **Links** von ihr entdeckt sie den Kaffee. Auf dem Weg zur Gemüsetheke ergattert sie die letzten Bananen. Dort angekommen kann sie sich nicht zwischen den Tomaten entscheiden. Nehme ich diese dort oder die **Rechts** davon flüstert sie. Die Milch ist danach schnell gefunden. Nun schnell zur Kasse. Zuhause wartet noch eine Menge Arbeit..

Text 7:

Fahren Sie mit der Straßenbahn bis zum Münchner Platz. Dort drehen sie sich in Richtung Schumannbau. Dieser Bau hat ist ein ehemaliges Gerichtsgebäude, das aussieht wie eine Burg. Überqueren Sie den Münchner Platz in Richtung des Gebäudes. Gehen sie **rechts** am Gebäude vorbei. Die Straße führt Sie aufwärts bis sie die Nöthnitzerstraße kreuzt. Die Nöthnitzerstraße ist eine große Straße mit geteiltem Fuß- und Fahrradweg. An dieser Kreuzung biegen Sie nach **links** ab und folgen der Nöthnitzerstraße. Nach einiger Zeit sehen sie **links** ein Gebäude mit einem kleinen Turm. Wenn sie dieses Gebäude sehen, drehen sie sich um und sie stehen vor der Fakultät für Informatik.

Text 8:

Du benötigst ein rotes Papierquadrat - je kleiner, desto besser bekommst du die Rundungen hin. So entsteht das Origami: Lege das Quadrat vor dich. Falte die senkrechte Mittellinie. Falte dann eine diagonale Faltlinie, indem du die **linke** untere Spitze zur Oberen. Jetzt falte den unteren Teil der senkrechten Faltlinie auf den oberen Teil der diagonalen Faltlinie. Überprüfe ob du die Kanten ordentlich gefaltes hast. Dann falte die äußere **linke** Ecke auf die **rechte** äußere. Die mittleren Ecken legen sich dabei automatisch übereinander. Gleich hast du es geschafft. Runde zum Schluss die Ecken ab, indem du die oberen und seitlichen Spitzen nach hinten umknickst. Fertig ist das Herz. Es eignet sich hervorragend als Geschenkzugabe und kann schon von Kindern im Alter von 5 Jahren gebastelt werden.

A.2 Befragungsbogen Pilotversuch

Fragebogen Pilottest Führungssystem – Proband:

Fragebogen Prototyp

Wie alt sind Sie?

Welches Geschlecht haben Sie?

Was ist ihr Beruf / Studiengang?

Benutzen Sie regelmäßig ein Smartphone, Tablet oder anderes Gerät mit Touchdisplay? Welches Gerät, wie oft?

Seit wann sind sie blind?

Verfügen Sie ein Restsehvermögen?

Haben Sie weitere Einschränkungen der Wahrnehmungsfähigkeiten?
(hörbehindert, motorisch, Einschränkung der Tastfähigkeit)

Wann und in welchem Umfang haben Sie ein Mobilitätstraining absolviert?

Benutzen Sie einen Langstock?

Haben Sie Erfahrungen mit elektronischen Hilfsmitteln zur Fußgängernavigation, insbesondere Navigationssystemen?

Kennen Sie sich gut im Informatikgebäude aus?

Fragebogen Pilottest Führungssystem – Proband:

Einführung

Führung durch ein Navigationsgerät. Richtungsangaben in 45° Angaben, "Halten sie sich links/rechts", Gefahr links/rechts/geradeaus, Entfernung bei weit entfernten Wegpunkten, Ziel erreicht.

Lautstärke selbst einstellbar.

Übung:

links	a	Gef. Links	h
halblinks	q	Gef. Geradeau	j
geradeaus	w	Gef. Rechts	k
halbrechts	e	Ziel erreicht	x
rechts	d	Verbindung ver	f
zurück	s	abgekommen	z
Ori. links	D-Pad links	Entfernung $\frac{1}{4}$	1
Ori. Geradeaus	D-Pad up	Entfernung $\frac{1}{2}$	2
Ori. Rechts	D-Pad rechts	Entfernung $\frac{3}{4}$	3

Wizard-of-Oz mit simulierten Sprachbefehlen:

- Navigation **starten**
- Navigation **Pausieren**
- **wiederholen** aller aktuellen Signale
- **neu** berechnen von hier
- **Hilfe** : Signal + Bedeutung angesagt
- Navigation **Beenden**

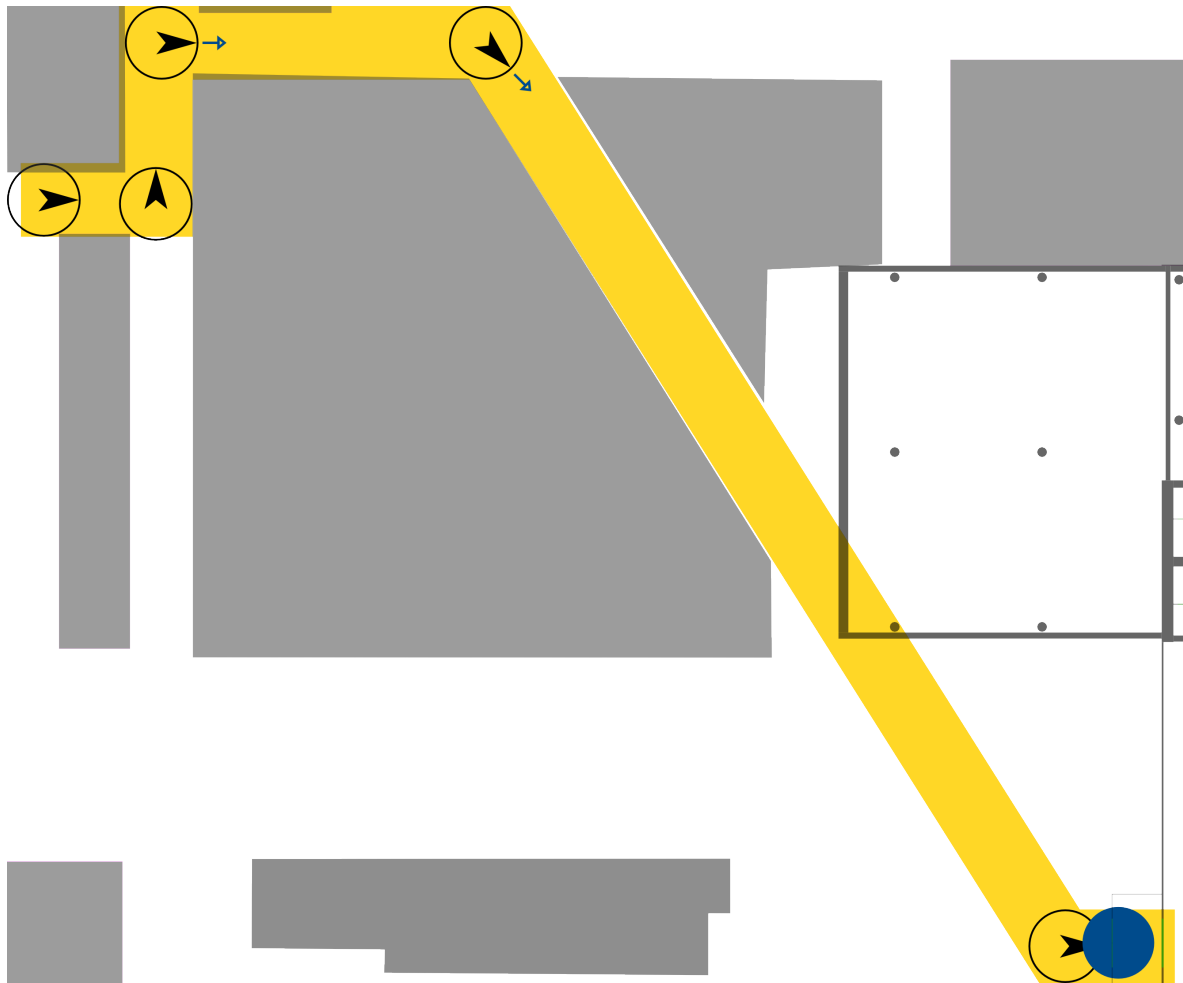
Thinking Aloud: Lautes Denken

Sie werden zu einem unbekanntem Ziel geführt. Keine Einführung in die Umgebung. Startpunkt ist immer nächstliegende Tür oder Wand. Zu dieser sollten sie mit dem Rücken stehen.

Bemerkungen und Kommentare bei der Führung

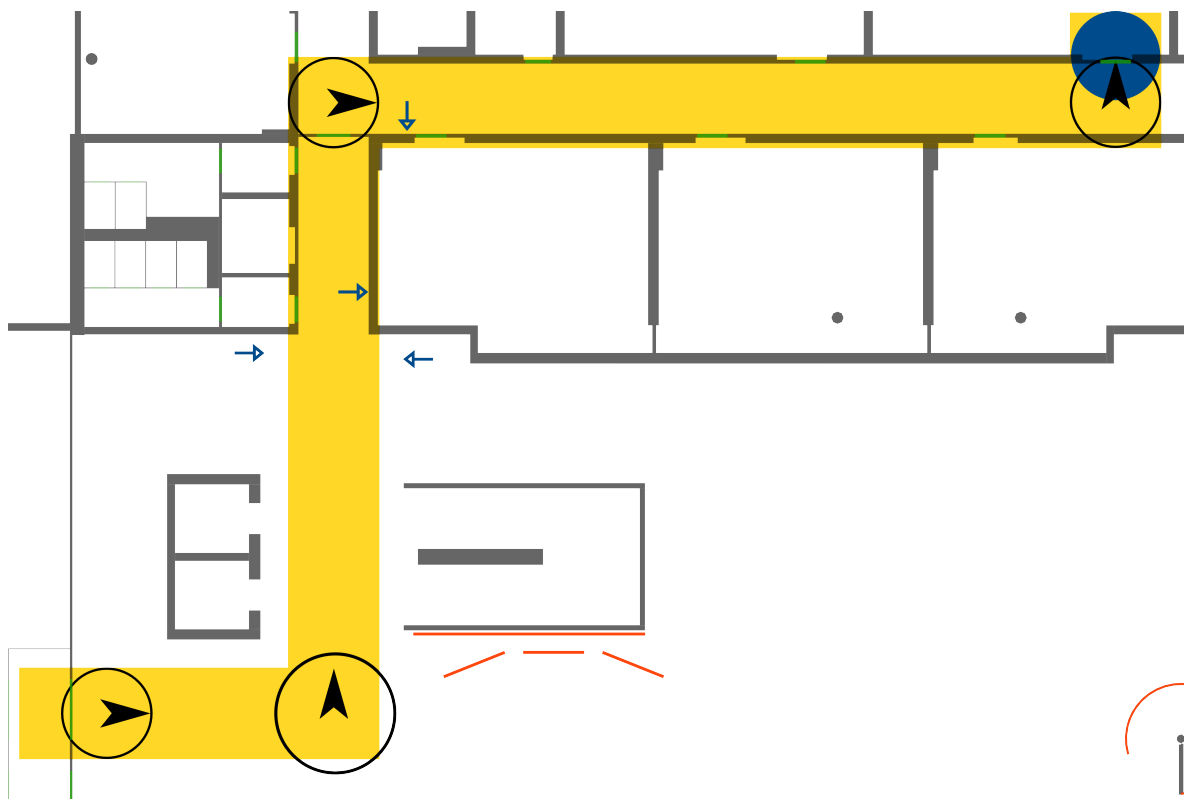
Fragebogen Pilottest Führungssystem – Proband:

Abschnitt 1



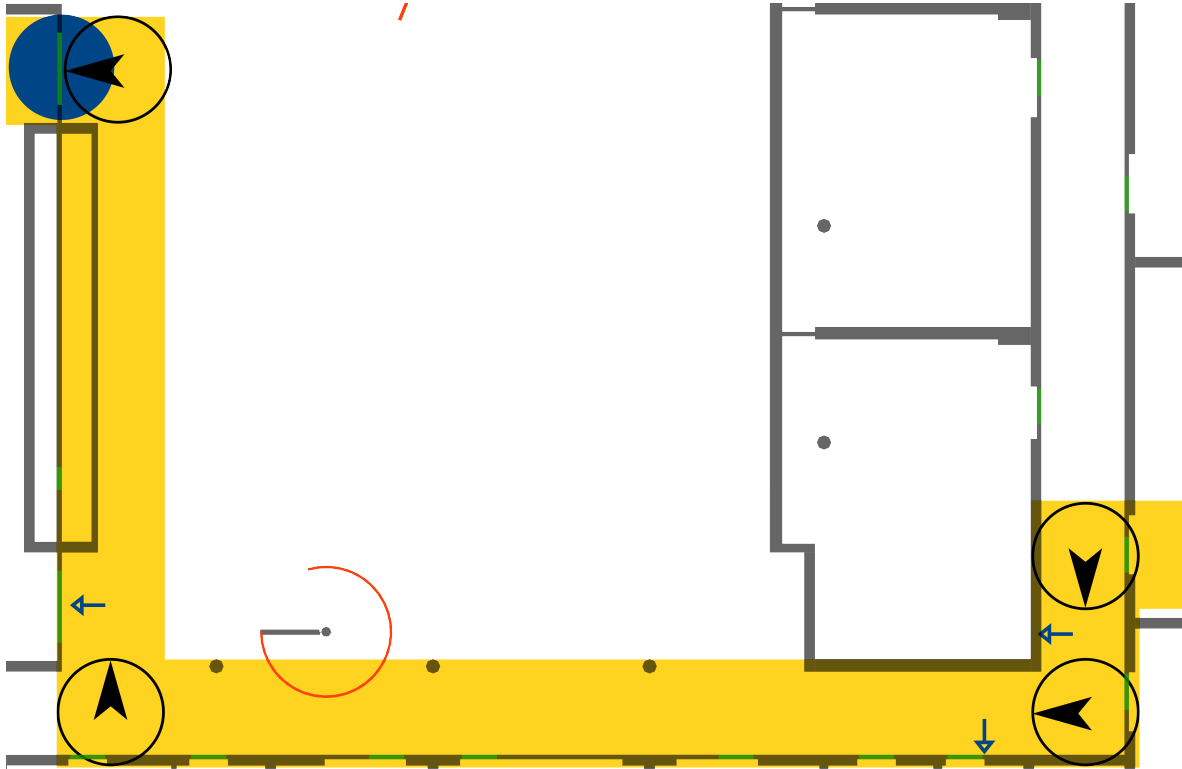
Fragebogen Pilottest Führungssystem – Proband:

Abschnitt 2



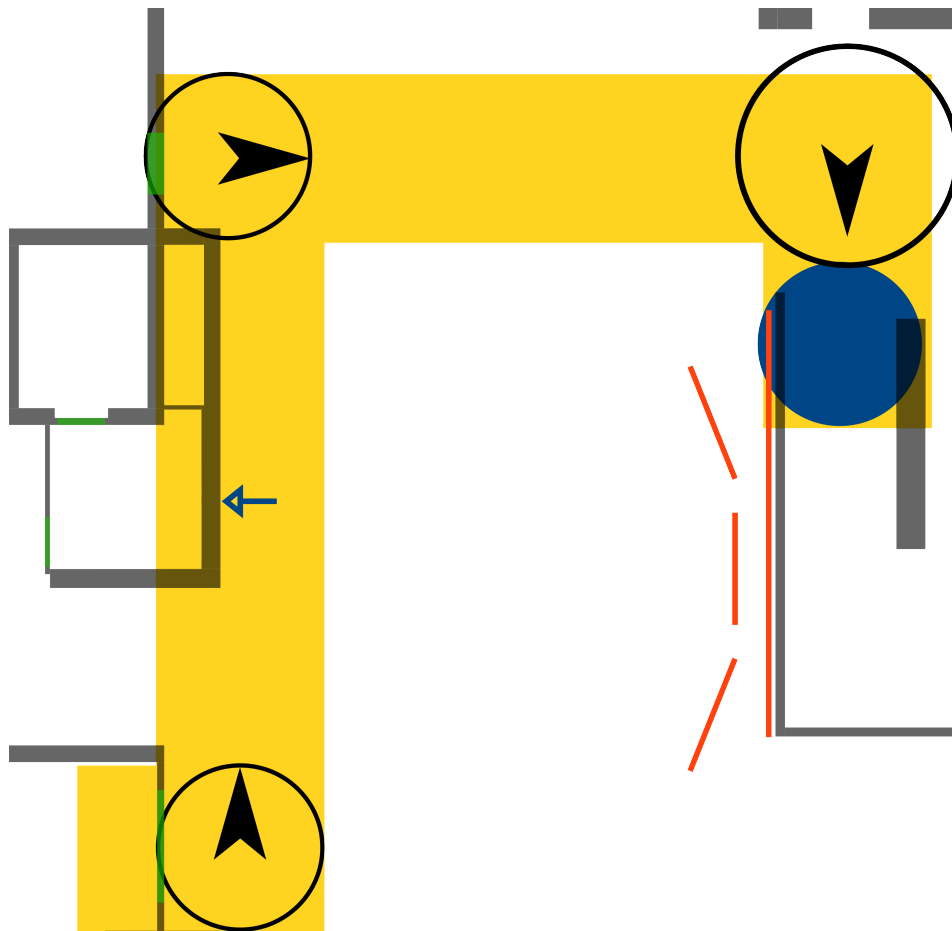
Fragebogen Pilottest Führungssystem – Proband:

Abschnitt 3



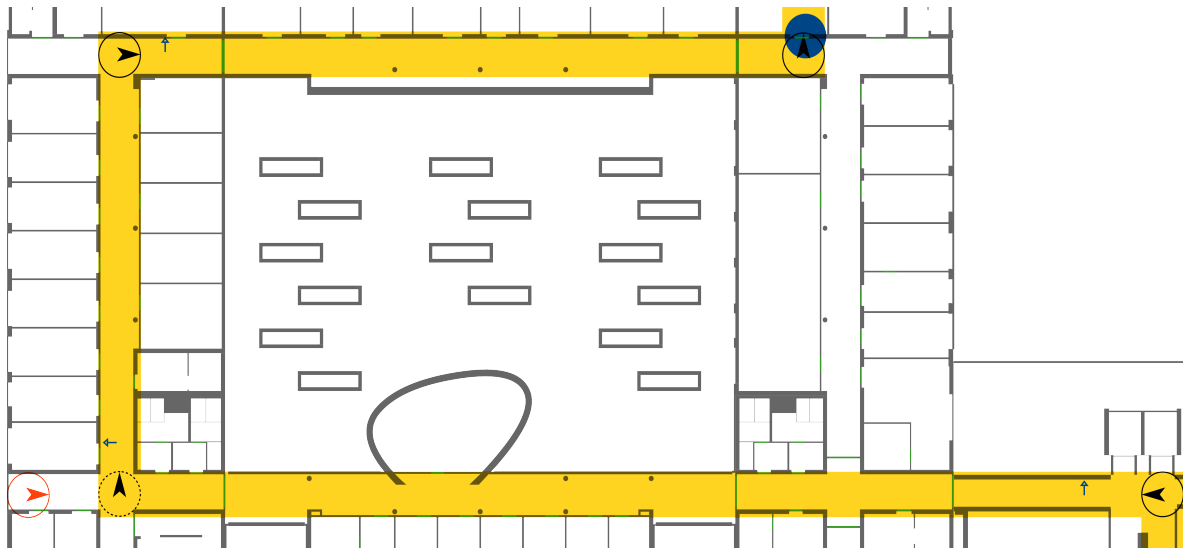
Fragebogen Pilottest Führungssystem – Proband:

Abschnitt 4



Fragebogen Pilottest Führungssystem – Proband:

Abschnitt 5



Fragebogen Pilottest Führungssystem – Proband:

System Usability Scale

1. Ich würde dieses System gerne häufig benutzen
(1 = stimme ich gar nicht zu, 5 = Stimme ich sehr zu)

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

2. Ich fand das System unnötig komplex

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

3. Ich denke, das System war einfach zu nutzen

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

4. Ich denke, ich würde die Unterstützung einer Fachperson benötigen, um das System nutzen zu können.

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

5. Ich fand die verschiedenen Funktionen gut ins System integriert (Gefahrenanzeige, Richtungsanzeige,...)

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

6. Ich denke, es gibt zu viele Inkonsistenzen im System.

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

7. Ich könnte mir vorstellen, dass die meisten Leute die Benutzung des Systems sehr schnell erlernen könnten.

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

8. Ich fand das System sehr umständlich zu benutzen.

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

9. Ich habe mich bei der Nutzung sehr sicher gefühlt.

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

10. Ich musste viel lernen, bevor ich das System nutzen konnte.

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

Fragebogen Pilottest Führungssystem – Proband:

NASA TLX

Geistige Anforderung: Wie anstrengend war die Wahrnehmung und Informationsverarbeitung? (z.B. denken, entscheiden, berechnen, merken, suchen, etc.) War die Aufgabe leicht oder fordernd, einfach oder komplex, fehlertolerant oder erforderte sie exaktes Arbeiten?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

(1 = gering / 20 = hoch)

Körperliche Anforderung: Wieviel physische Aktivität war erforderlich? (drücken, ziehen, drehen, überwachen, aktivieren, ...) War die Aufgabe leicht oder schwer, langsam oder schnell, locker oder strapaziös, erholsam oder mühselig?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

(1 = gering / 20 = hoch)

Zeitliche Anforderung: Wie hoch war das Tempo und der empfundene Zeitdruck bei der Aufgabe? War das Tempo langsam und locker oder schnell und hektisch?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

(1 = gering / 20 = hoch)

Leistung: Wie erfolgreich, denken Sie, waren Sie bei der Erfüllung der Aufgabe? Wie zufrieden waren sie mit ihrer Leistung beim Erreichen der Ziele zu?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

(1 = gut / 20 = schlecht)

Anstrengung: Wie hart mussten Sie arbeiten, um Ihren Grad der Aufgabenerfüllung zu erreichen? (geistig und physisch)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

(1 = gering / 20 = hoch)

Frustrationsgrad: Wie unsicher, entmutigt, irritiert, gestresst und verärgert (oder sicher, befriedigt, zufrieden, entspannt) haben Sie sich während der Aufgabe gefühlt?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

(1 = gering / 20 = hoch)

Welche der folgenden Faktoren ist entscheidender für die gerade wahrgenommene Anstrengung?

- | | | |
|--------------------------|------|-----------------------|
| 1. Anstrengung | oder | Leistung |
| 2. Zeitliche Anforderung | oder | Frustrationsgrad |
| 3. Zeitliche Anforderung | oder | Anstrengung |
| 4. Physische Anforderung | oder | Frustrationsgrad |
| 5. Leistung | oder | Frustrationsgrad |
| 6. Physische Anforderung | oder | Zeitliche Anforderung |
| 7. Physische Anforderung | oder | Leistung |
| 8. Zeitliche Anforderung | oder | Geistige Anforderung |
| 9. Frustrationsgrad | oder | Anstrengung |
| 10. Leistung | oder | Geistige Anforderung |
| 11. Leistung | oder | Zeitliche Anforderung |
| 12. Geistige Anforderung | oder | Anstrengung |
| 13. Geistige Anforderung | oder | Physische Anforderung |
| 14. Anstrengung | oder | Physische Anforderung |
| 15. Frustrationsgrad | oder | Geistige Anforderung |

Fragebogen Pilottest Führungssystem – Proband:

Nachbefragung

Wie intuitiv sind die Signale?

Wie gut sind die Signale voneinander unterscheidbar?

Wie gut sind die Signale vom Hintergrund unterscheidbar?

Wie nervig oder angenehm sind die Signale auf Dauer?

Welche Signale würden sie zu einem anderen Zeitpunkt erwarten und wann?

Welche Signale würden sie ändern wollen?

Sind sie zufrieden mit den **Richtungsangaben** (genauer)?

Wie finden sie die Angabe der **Wegabweichung**, sollten die Wege schmaler oder breiter als 3m sein?

Wie hilfreich finden Sie das **Orientierungssignal**?

Wie hilfreich finden Sie das **Gefahrensignal**? Wie würde es mehr helfen?

Wie finden Sie das **Entfernungssignal**? Wann sollte es ertönen? Kann man es gut erkennen?

Das **Verbindung verloren** Signal unterscheidet sich stark von den anderen Signalen. Ist es verständlich?

Ist das **Gesamtsystem** zur Führung geeignet? An welchen Stellen gibt es Probleme? Warum?
An welchen Stellen hätten sie gerne mehr Informationen bekommen?

Wünschen sie sich **zusätzliche Informationen** über die Umgebung? Mit welchen Informationen würden sie sich besser zurechtfinden können?

- Bereichsnamen?
- Wichtige Punkte wie Toiletten, Treppenhäuser etc.
- Umriss des Raums?
- Richtungen von Raumverbindungen?

Würden Sie sich mit einem solchen System sicher genug fühlen um in einem unbekanntem Gebäude alleine zu navigieren?

Fragebogen Pilottest Führungssystem – Proband:

Hätten Sie gerne eine Wegbeschreibung vor jedem Wegabschnitt? (Sprachlich oder akustisch)

Zusammenfassung des Weges mit allen Infos oder nur Richtungen?

Wünschen Sie sich eine Umgebungsbeschreibung vor dem Wegabschnitt? (Sprachlich oder akustisch)

Welcher Inhalt? (Wandentfernungen und Raumöffnungen oder Raumtyp und POIs)

Würden Sie die verwendeten Sounds gerne für ein Navigationssystem verwenden?

Wäre Vibration als alternative Führungsmethode wichtig?

Welche Führungsmethode würden Sie bevorzugen? Sprache, akustische Signale oder Vibration?

Danksagung

Ich möchte mich bei allen Personen bedanken, die mich bei der Erstellung meiner Diplomarbeit unterstützt haben. Ich bedanke mich bei Professor Weber und meinem Betreuer Martin Spindler und allen Mitarbeitern des Lehrstuhls „Mensch-Computer-Interaktion“ für ihre Hilfsbereitschaft und ihre freundliche Unterstützung.

Bei den Probanden möchte ich mich bedanken, die alle großes Interesse an meiner Arbeit zeigten und viele gute Anregung und Verbesserungsvorschläge einbrachten.

Außerdem danke ich meiner Familie und meinen Freunden, welche mich während meines gesamten Studiums begleiteten und mir geholfen haben diesen Weg zu meistern.

