



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Masterarbeit

Stefan Meißner

Realisierung von Sound und Event Awareness
durch verteilte Sensorknoten

Stefan Meißner
Realisierung von Sound und Event Awareness
durch verteilte Sensorknoten

Masterarbeit eingereicht im Rahmen der Masterprüfung
im Studiengang Angewandte Informatik
am Department Informatik
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Betreuender Prüfer : Prof. Dr. rer. nat. Gunter Klemke
Zweitgutachter : Prof. Dr. rer. nat. Kai von Luck

Abgegeben am 29. April 2010

Stefan Meißner

Thema der Masterarbeit

Realisierung von Sound und Event Awareness durch verteilte Sensorknoten

Stichworte

Ambient Awareness, Ambient Intelligence, Peripheral Awareness, Sound Awareness, Event Awareness, Sensornetz

Kurzzusammenfassung

Diese Arbeit behandelt Möglichkeiten zur Realisierung eines Sound- und Event-Awareness-Systems. Es werden Methoden zur Darstellung von Geräuschen untersucht und bewertet. Durch Analyse alltäglicher Szenarien hörgeschädigter Menschen werden entsprechende Anforderungen isoliert. Diese Anforderungen fließen in einen Entwurf einer prototypischen Sound-Awareness-Umgebung. Der Schwerpunkt liegt dabei auf Peripheral Awareness, der unaufdringlichen Repräsentation von Geräuscheignissen.

Das Ziel der Realisierung ist ein prototypisches System, das sich durch Sensorknoten autonom betreiben lässt. Einfachheit in der Installation und Erweiterbarkeit des Systems sind wichtige Anforderungen an den Systementwurf.

Stefan Meißner

Title of the master's thesis

Sound and event awareness with the use of distributed sensor nodes

Keywords

Ambient Awareness, Ambient Intelligence, Peripheral Awareness, Sound Awareness, Event Awareness, Sensor Network

Abstract

This thesis highlights possibilities to achieve a sound and event awareness system. Practices for visualisation of sound are researched and evaluated. The requirements are being determined by analysing common scenarios of hearing impaired people. A prototypical sound awareness environment will be designed by incorporating these requirements. The focus is on peripheral awareness - unobtrusive representation of sound events.

The goal is the achievement of a system prototype which operates autonomous via sensor nodes. Simple installation and expandability are main issues of the system design.

*Diese Arbeit ist
meiner Tochter Malia
und meiner Frau Uta gewidmet.
Vielen Dank für all die Geduld
und Unterstützung.*

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	7
1. Einleitung	9
1.1. Motivation	9
1.2. Zielgruppen	10
1.2.1. Gehörlose	10
1.2.2. Taubblinde	12
1.2.3. Weitere Zielgruppen	13
1.3. Definitionen	13
1.3.1. Awareness	13
1.3.2. Ambient Intelligence	15
1.3.3. Sound	15
1.4. Aufbau der Arbeit	16
2. Analyse	18
2.1. Szenarien	19
2.1.1. Hauptszenario: Schreiendes Baby (erste Iteration)	19
2.1.2. Hauptszenario: Schreiendes Baby (zweite Iteration)	21
2.1.3. Benachrichtigung	24
2.2. Darstellung von Geräuschen	25
2.2.1. Darstellung der Charaktereigenschaften von Geräuschen	26
2.2.2. Explizite Darstellung der Geräuschklasse	31
2.2.3. Darstellung des Ortes	32
2.2.4. Peripheral Awareness - Informationen ohne Ablenkung	35
2.2.5. Existierende Lösungen und Hilfsmittel	36
2.3. Klassifizierung vs. Eigeninterpretation	37
2.3.1. Vor- und Nachteile der Klassifizierung	38
2.3.2. Komplexität	38
2.4. Verwandte Arbeiten / Existierende Konzepte	39
2.4.1. CHIL - Computers In the Human Interaction Loop	39
2.4.2. IC2Hear: Designing Ambient Displays of Sound	41
2.4.3. Nimio: An Ambient Awareness Device	43
2.5. Zusammenfassung	44

3. Systemanalyse und Entwurf	46
3.1. Systemarchitektur	46
3.1.1. Logische Architektur des Sound- und Event-Awareness-Systems	47
3.2. Das Sensornetz	50
3.3. Sensorknoten	50
3.3.1. Anwendungsfälle	51
3.3.2. Sensoren und Signalgeber	56
3.3.3. Aktuatoren und Displays	58
3.3.4. Funkmodul	61
3.4. Schnittstellen und Integration	64
4. Realisierung und Evaluation	66
4.1. Arduino-Plattform	66
4.2. Sound-Awareness-Mote	68
4.2.1. Komponenten	68
4.2.2. Schaltplan Sound-Awareness-Mote	76
4.2.3. Steckplatine/Breadboard	78
4.2.4. Messungen	78
4.2.5. Programmlogik	80
4.3. Integration	81
4.4. Evaluation	84
5. Resümee	85
5.1. Fazit	86
5.2. Ausblick	86
Literaturverzeichnis	88
A. Anhang	95
A.1. Messungen	95
A.2. Schaltkreise, Steckplatinen	97
A.3. Screenshots, Fotos	98
A.4. Programmcode Prototyp	101

Abbildungsverzeichnis

2.1. Analoges VU Meter	26
2.2. Sprachvisualisierung mittels Sonagramm	27
2.3. Spektrogramm-Analyse gesammelter Sound-Daten während eines Sturzes	28
2.4. Visualization Plugins verbreiteter Mediaplayer	28
2.5. Audio-Visuelles Mapping unterschiedlicher Instrumente	29
2.6. Bluetooth Vibrations-Armband	31
2.7. Gezeichnete Symbole zur Darstellung von Geräuschen	32
2.8. Darstellung von Geräuschklassen durch Icons	33
2.9. Prototypische Kartendarstellung	34
2.10. Head-Up-Display zur relativen Darstellung des Ortes	34
2.11. Historie der Geräuscheignisse	35
2.12. Blitzlampe (Empfänger)	36
2.13. Die drei Hauptphasen der Datensammlung, -verarbeitung und Beurteilung	39
2.14. Szene aus der Demonstration des „Acoustic Event Detection and Classification“-Systems	40
2.15. Ambient Display: Nimio	43
2.16. Szenario mit Nimio	44
3.1. Logische Sicht auf ein Ambient-Intelligence-System	47
3.2. Logische Architektur des angestrebten Sound- und Event-Awareness-Systems	48
3.3. Beispielszenario des Sound- und Event-Awareness-System	49
3.4. Kapseln von Elektret-Kondensatormikrofonen	56
3.5. Mini Push Button Switch	57
3.6. Auf piezoelektrischem Effekt basierende Sensoren	58
3.7. Lichtkunstprojekt „LED Throwies“	60
3.8. Vibrationsmotor eines Mobiltelefons	60
3.9. Piezo Buzzer	61
3.10. IEEE 802.15.4 Netztopologien	63
3.11. ZigBee-Stack	64
4.1. Für Sound-Awareness-Motes geeignete Arduino Boards	68
4.2. Verwendete XBee Module und Shields ¹	69
4.3. Schaltplan des Mikrofon-Vorverstärkers	72

4.4. Beispielschaltung für eine RGBB-LED	73
4.5. ShiftBrite LED-Modul	74
4.6. Schaltplan der Sound-Awareness-Motes	77
4.7. Steckplatine eines Sound-Awareness-Motes	79
4.8. Mikrofonsignale bei Beschallung mit Sinus-, Rechteck- und Sägezahnschwin- gung	80
4.9. Ablaufdiagramm der Loop-Routine des Sound-Awareness-Motes	82
4.10. Eingang einer Benachrichtigung	83
A.1. Babyschreien (etwas entfernt)	95
A.2. Klatschen	95
A.3. Klatschen mit alternativem Mikrofon	96
A.4. Rechtecksignal, 800 Hz	96
A.5. Rechtecksignal, 800 Hz (weiter entfernt)	96
A.6. Steckplatine des Mikrofon-Vorverstärkers	97
A.7. Foto eines prototypischen Sound-Awareness-Motes	98
A.8. Foto eines Motes für Mikrofonmessungen	98
A.9. Sound-Awareness-Mote in Aktion	99
A.10. RemoteAVR	100
A.11. Benachrichtigung auf einem <i>iPod touch</i>	101

1. Einleitung

Geräusche wahrnehmen und Informationen darin zu erkennen ist ein wesentlicher Teil unserer kognitiven Fähigkeiten. Durch Filterung der von den Sinnesorganen registrierten Informationen ergeben sich wichtige Informationen für unser Bewusstsein. Bei dieser Arbeit geht es vielmehr um das passive Aufnehmen von Informationen als z. B. um aktives Zuhören und Kommunizieren. Wenn bestimmte Ereignisse eintreten, kann im Normalfall durch kleine „Informationshäppchen“ auf die gesamte Situation geschlossen werden. Durch Erfahrungen sind diese Schlussfolgerungen stark mit den Ereignissen verknüpft - aus der Türklingel wird der Besuch von Freunden interpretiert. Umgekehrt können wir aus einem unbekanntem oder nicht erwartetem Geräuschereignis unter Umständen eine Gefahrensituation folgern. So kann ein ungewohntes Geräusch während der Autofahrt ein wichtiges Warnsignal sein.

Neben dem bewussten Interpretieren von Ereignissen erzeugt auch die unbewusste Aufnahme von Gerüchen, Geräuschen, Farben und vielen anderen Reizen der Sinnesorgane ein Gesamtbild unseres Zustands und Umfelds. Eine solche Atmosphäre wirkt unterschiedlich auf Menschen ein, so dass Wohlfühl oder Unbehagen entstehen kann (z. B. Meeresrauschen im Urlaub, Baustelle neben dem Büro).

Falls, wegen Behinderung oder anderer Gründe, weniger Informationen ankommen (können), fehlen dem Betroffenen u. a.:

- wichtige Fakten.
- redundante Informationen (z. B. Tür knallt fühlbar).
- vermeintlich unwichtige Informationen (z. B. Ambiente im Restaurant).
- keine Informationen (z. B. „fehlt“ Gehörlosen das Geräusch nicht).

1.1. Motivation

Menschen mit bestimmten Behinderungen erhalten durch eventuell eingeschränkte Wahrnehmung weniger Feedback. Feedback bezieht sich hierbei auf alltägliche und zwischenmenschliche Situationen. Hörgeschädigten ist es im Allgemeinen nicht möglich, auf Rufe zu reagieren oder Gefahrensituationen anhand von Geräuschen zu erkennen. Weiterhin fehlt

die unterbewusste Wahrnehmung von Geräuschen, z.B. das Bemerkten von Personen, die den Raum betreten.

Für Sehbehinderte bringen diese Situationen ebenso Probleme. Gefahren lassen sich nicht leicht erkennen (Baustelle auf dem Gehweg) und Personen, die den Raum eines Blinden betreten, sollten auf sich aufmerksam machen. Taubblinde Menschen sind fast ausschließlich auf ihre haptische Wahrnehmung beschränkt, wodurch die üblichen Feedback-Möglichkeiten ausgeschlossen sind.

Diese Masterarbeit untersucht Möglichkeiten zur Verbesserung des Feedbacks für Hörgeschädigte. Der Schwerpunkt liegt daher auf Sound Awareness unter Berücksichtigung von Peripheral Awareness (siehe [Abschnitt 1.3](#)). Aus Ergebnissen der Analyse und dem Systementwurf soll ein konkretes System zur Darstellung von Geräuschereignissen entstehen.

1.2. Zielgruppen

1.2.1. Gehörlose

Gehörlose¹ sind als Hauptzielgruppe im Fokus dieser Masterarbeit. Die Gründe dafür liegen augenscheinlich in der direkten Betroffenheit, aber auch darin, dass eine indirekte Benachteiligung gegenwärtig ist. Im Kontext dieser Arbeit sind Gehörlose dann direkt betroffen, wenn zum Beispiel die Glocke an einer Hochschule an das Ende der Pause erinnert. Weiterhin würde jeder einfache Rauchmelder, im Normalfall akustisch, keine Leben retten können. In den USA ist seit 1990 der „Americans with Disabilities Act“ in Kraft, ein Gesetz, das vor Diskriminierung aufgrund von Behinderungen schützen und Benachteiligungen beseitigen soll. Ein ähnliches Gesetz existiert erst seit 2002 in Deutschland unter dem Namen „Gesetz zur Gleichstellung behinderter Menschen“ (kurz „Behindertengleichstellungsgesetz“) ([BMJ, 2002](#)). Das deutsche Gesetz ist jedoch bei weitem nicht so umfangreich und wird auch nicht so streng umgesetzt wie vergleichbare Gesetze vieler anderer Länder.

Indirekt, oder besser passiv, betroffen sind Gehörlose in Situationen, die Hörenden nicht unmittelbar auffallen, respektive ihnen harmlos erscheinen. Als Beispiel soll eine Situation dienen, die einer dem Autor persönlich bekannten Person widerfuhr: Die gehörlose Person sitzt am Arbeitsplatz und konzentriert sich auf den Monitor. Einige Kollegen versammeln sich im Nebenraum, ohne direkte Einladung. Angeregt durch Geräusche oder Zurufe kommen weitere Kollegen hinzu und es wird zum Geburtstag eines Kollegen Kuchen ausgegeben. Ob nun beabsichtigt oder nicht, die gehörlose Person bekam von allem nichts mit und fühlt sich dann, wenn sie die Situation realisiert, stark ausgeschlossen. Diese soziale Ausgrenzung

¹ Im Rahmen dieser Arbeit werden Menschen im Bereich leichter Hörschädigungen bis hin zur Ertaubung als Gehörlose bezeichnet.

ist im Normalfall nicht gewollt, aber ständig gegenwärtig, häufig auf subtilem, unterschwelligem Wege. Diese passive Informationsarmut aufgrund Vorenthaltens nebensächlicher Geräusche soll in dieser Arbeit einen zentralen Punkt einnehmen (siehe [Abschnitt 1.3.1](#)).

Beruf Gehörlose arbeiten gewöhnlich in einer Umgebung Hörender, wodurch es häufig dazu kommt, dass Informationen bestenfalls nur zum Teil kommuniziert, oft jedoch vorenthalten werden. Vielmals entsteht eine soziale Ausgrenzung, da der Zeit- und Erfolgsdruck der anderen Mitarbeiter eine Berücksichtigung der gehörlosen Kollegen erschwert. Solche Voraussetzungen bieten Gehörlosen im Umfeld von Hörenden wenig Möglichkeiten zu produktiver Arbeit und führen in akuten Fällen zu schlechtem Betriebsklima. Im Allgemeinen ist eher eine stetige Unterforderung als Arbeitslosigkeit zu befürchten. Freie Berufswahl und Karriere sind bei Gehörlosen natürlich nicht ausgeschlossen, aber schwerer zu erreichen, da eine Einstellung zu bestimmten Berufen aufgrund von Beeinschränkungen häufig chancenlos bleibt (vgl. [Ladd, 2003](#)). Besprechungen in der Gruppe sind lediglich unter Einsatz von Dolmetschern möglich, wobei hierbei die gehörlose Person nicht synchron mitsprechen kann. Eine übliche Situation ist, dass die Besprechungsgruppe bereits beim nächsten Tagesordnungspunkt angekommen ist und die gehörlose Person eine Anmerkung zur vorherigen, quasi abgeschlossenen, Diskussion bringt. Viele Gehörlose tendieren dazu, sich eher bei einer Firma zu bewerben, die schon mit Gehörlosen besetzt ist oder gar nur gehörlose Mitarbeiter hat.

Gefahren Gehörlose sind im Allgemeinen nicht viel mehr gefährdet als Menschen ohne Hörschädigung. Gehörlose sind vielmehr in Situationen, die aufgrund der Hörschädigung gefährlicher sind, aufmerksamer und entwickeln Techniken, Gefahren zu minimieren (z. B. ständige Sichtkontrolle). In gewissen Situationen ist eine - häufig technische - Unterstützung erwünscht oder wird aufgrund drohender Lebensgefahr benötigt.

- Akustischer Feueralarm kann nicht wahrgenommen werden - optische Signale oder Vibration benötigt
- Es ist schon vorgekommen, dass gehörlose Angestellte von ihren Kollegen bei einem Feueralarm vergessen wurden (z. B. Einzelbüro oder Toilette) ([Moore u. Levitan, 2003](#))
- 1994 kam es in einem Werk der B. Manischewitz Company zu einem Feuer bei dem hörende Mitarbeiter zurückkehren mussten, um gehörlose Kollegen über das Feuer zu informieren - 1998 wurde aufgrund dessen eine 36 Millionen Dollar Klage wegen Verstoßes gegen den „Americans With Disabilities Act“ geplant ²

²<http://www.jweekly.com/article/full/8026/>

- In den USA und Großbritannien existieren bereits Auflagen beim Bau von öffentlichen Gebäuden, die erfordern, u. a. Feueralarm mit Blitzlicht zu installieren
- Versicherungen haben Gehörlose nur mit erhöhten Beiträgen versichert oder gar abgelehnt, da durch die Gehörlosigkeit ein höheres Unfallrisiko bestehe.

Es wurde und wird gelegentlich immer noch erwartet, dass Gehörlose eher sich selbst verändern, als dass versucht wird, unter den vorhandenen Umständen zu leben. Hierbei wird propagiert, Lautsprache zu sprechen und von den Lippen abzulesen, sowie Kinder einer Operation unterziehen zu lassen (Cochlea-Implantat). In Moore u. Levitan (2003) wird diese Erwartungshaltung mit „*Why don't you get yourself fixed?*“ zitiert. Dem Autor dieser Arbeit ist die Tatsache bekannt, dass ein Anpassen der Gehörlosen nicht erwünscht oder machbar ist. Aktuell findet eine ähnliche Diskussion auch unter dem Begriff der Inklusion von Behinderten statt.

In Deutschland gibt es, sehr zum Leid der Betroffenen, im Fernsehen immer noch wenig Bemühen eine hundertprozentige Untertitelung zu erreichen. Untertitel sucht man auf DVDs deutscher Filme häufig vergebens (Hellebrand, 2007). Obwohl die Anzahl der Hörgeschädigten in Deutschland im Jahre 2001 mit ca. 13,3 Millionen³ abgeschätzt wurde (Pahlke, 2001), sind die Zielvereinbarungen des Behindertengleichstellungsgesetzes (BMJ, 2002) noch nicht erfüllt (Worseck, 2002).

Die Anzahl der Menschen mit zumindest leichter Hörschädigung beträgt ca. 22-28 Millionen in den USA. Diese Gruppe stellt einen großen Markt dar, der jedoch nicht erkannt oder direkt beworben wird. Unternehmen, die spezielle Produkte für Hörgeschädigte anbieten, haben jedoch häufig Monopolstellung. In den USA wiederum sind sogar Werbesendungen untertitelt.

1.2.2. Taubblinde

Taubblindheit ist keine addierte Behinderung aus Gehörlosigkeit und Blindheit, vielmehr eine Behinderung eigener Art. Wenn beide Sinne so stark eingeschränkt sind, dass diese Fernsinne gegenseitig keine Kompensierung erreichen können und durch die verbliebenen Sinne, spricht man von Taubblindheit respektive Hörsehbehinderung. (vgl. DBSV, 2005)

Die in Unterabschnitt 1.2.1 aufgeführten Punkte gelten selbstverständlich auch bei Taubblinden. Hinzu kommt, dass es nicht möglich ist, auf den Sehsinn auszuweichen. Grundsätzlich soll das „Zwei-Sinne-Prinzip“⁴ berücksichtigt werden, um Barrierefreiheit zu bieten. Eine Berücksichtigung von Sehsinn und Hörsinn genügt allerdings im Falle von Taubblindheit nicht,

³Das entspricht ca. 19% der deutschen Bevölkerung über 14 Jahren

⁴Zwei-Sinne-Prinzip: <http://nullbarriere.de/rau-barrierefrei-bauen.htm>

weshalb zusätzlich taktile Stimulation benötigt wird. Die Herausforderung, für Taubblinde eine verlässliche Sound-Awareness-Umgebung zu erreichen, ist demzufolge sehr komplex. Es ist vorerst das Ziel, eine rudimentäre Wiedergabe von Geräuschinformationen für den Tastsinn zu gestalten. Jeder noch so einfache Ansatz ist auch für alle anderen Zielgruppen eine wertvolle Erweiterung.

Für den Informationstransfer unter Taubblinden oder zwischen Nicht-Taubblinden und Taubblinden wird neben anderen Kommunikationssystemen, wie Lormen und taktiles Gebärdensprache, die Idee der Bezugsobjekte genutzt. Bezugsobjekte sind eindeutig erspürbare Gegenstände, die neben der eigentlichen Identität eine besondere Bedeutung bekommen - beispielsweise steht ein Gehstock für „Spazieren gehen“. Durch das Erkennen dieses Gegenstandes kann eine sehr schnelle Kommunikation realisiert werden. Es ist zu überlegen, ob ähnliche Ansätze auch für eine Sound-Awareness-Umgebung zu verfolgen wären.

1.2.3. Weitere Zielgruppen

Neben Hörgeschädigten und Taubblinden können auch viele andere Personengruppen durch eine alternative Darstellung von Geräuschen profitieren. Eine Vielfalt an Szenarien ist denkbar, wie z. B. neue Interaktionsmöglichkeiten (vgl. [Brewer u. a. \(2007\)](#)) oder Kunstinstallationen. Auch aus eigener Erfahrung stellt sich eine visuelle Repräsentation von Geräuscheinrichtungen in einer lauten Umgebung als nützliche Erweiterung dar.

1.3. Definitionen

Im Folgenden sollen essenzielle Begriffe vorgestellt und kurz definiert werden. Besonders im Rahmen von Ambient Awareness und Sound Awareness ist die Begriffswelt teils sehr vage, weshalb klare Definitionen und Abgrenzungen erforderlich sind.

1.3.1. Awareness

Sound Awareness In dieser Arbeit wird besonders auf die Zielgruppe der Hörgeschädigten eingegangen, weshalb eine speziellere Art der Ambient Awareness beleuchtet wird. Sound Awareness beschreibt das Bewusstsein der Gegenwart und Art von Tönen und Geräuschen. Für hörende Menschen ist es üblich, sich auf das Gehör zu verlassen und dadurch bewusst sowie unterbewusst Informationen aufzunehmen. Mittels dieses Bewusstseins kann z. B. erkannt werden, ob jemand anwesend ist, etwas heruntergefallen ist, oder eine akute

Gefahr besteht. In [Tabelle 2.1](#) sind bekannte Techniken aufgeführt, die gehörlosen Menschen Sound Awareness ermöglichen.

Context Awareness Ein wichtiger Aspekt in der Ambient Intelligence ist die Context Awareness. Ein System ist dann „context-aware“, wenn es Kontext benutzt, um dem Benutzer relevante Informationen oder Dienste anzubieten. Dabei wird die Relevanz vom Benutzer selbst gesteuert. Kontext ist hierbei jede Information, die genutzt werden kann, um die Situation einer Person, eines Objekts oder eines Ortes zu beschreiben ([Abowd u. a., 1999](#)).

Peripheral Awareness Im Folgenden liegt der Fokus auf Informationen über Aktivitäten anderer Benutzer. Wenn diese Informationen so dargestellt werden, dass der Benutzer diese aufnehmen kann, ohne seine Aufmerksamkeit von der aktuellen Tätigkeit abzuwenden, dann spricht man von *Peripheral Awareness* ([Liechti, 2000](#)). Dabei kann die Wahrnehmung bewusst oder unterbewusst ablaufen.

*Even when people focus their attention on one activity,
they also maintain peripheral awareness of external
events and changes in the surrounding environment.*

*Peripheral Awareness
Lottridge u. Mackay (2009)*

Das Design soll sowohl Fokus als auch die Peripherie berücksichtigen, um den Freiheitsgrad des Benutzer variabel zu halten ([Lottridge u. Mackay, 2009](#)).

Glanceability [Matthews \(2007\)](#) führt den Begriff der *Glanceability* ein, eine zu erzielende Eigenschaft der Peripheral Awareness. Dabei handelt es sich um das Bestreben, Informationen so abstrakt zu präsentieren, dass diese mit möglichst wenig kognitivem Aufwand erfasst werden können. Durch Verwendung verschiedener Techniken, wie Metaphern oder Symbole, soll unmittelbarer und unaufdringlicher Informationstransfer zustande kommen.

Awareness-Systeme *Awareness Systeme* sind netzbasierte Kommunikationssysteme (CMC⁵), wie z.B. Webforen, Groupware oder Videokonferenzen, die Peripheral Awareness-Informationen der jeweiligen Benutzer verarbeiten und darstellen. Mit geringem Aufwand sind die Aktivitäten der anderen Benutzer verfügbar. ([Markopoulos u. a., 2004](#); [Markopoulos, 2007](#))

⁵Computer-Mediated Communication

1.3.2. Ambient Intelligence

Ambient Intelligence *Ambient Intelligence* ist ein technologisches Paradigma, das eine Umgebung beschreibt, die mit einer gewissen Intelligenz auf Zustände und Eingaben reagiert. Der Benutzer ist dabei von intelligenten Schnittstellen umgeben, die in unauffälliger Weise in der gesamten Umgebung verteilt sind. Ambient-Intelligence-Systeme verwenden diese Schnittstellen, um passende Aktionen auszuführen (Meißner, 2007).

Weiterhin sollte ein Ambient-Intelligence-System intelligent antworten, bestenfalls multimodal, so dass jeder Kommunikationskanal verwendet werden kann. Das System muss unaufdringlich, die Benutzung unkompliziert und ohne Vorwissen zu bewältigen sein. Für weitere Informationen zu Ambient Intelligence siehe Riva u. a. (2005, Teil 1, Kap. 1).

Abgrenzung zum Pervasive Computing Ambient Intelligence unterscheidet sich vom Pervasive Computing hauptsächlich durch den Fokus auf die Benutzer in ihrer Umgebung. Es steht weder die neueste Technologie noch das Voranbringen der Entwicklung von Hardware im Mittelpunkt, wie dies beim Pervasive Computing und Wearable Computing der Fall ist. Vielmehr wird die Orientierung der Entwicklung durch die Bedürfnisse des Benutzers beeinflusst (Riva u. a., 2005, Teil 1, Kap. 4).

Ambient Assisted Living *Ambient Assisted Living* ist ein in Entwicklung befindliches europäisches Förderprogramm, mit dem Ziel vor allem ältere Menschen durch Ambient Intelligence zu unterstützen. Diese Hilfestellung soll es ermöglichen, für lange Zeit ein selbst bestimmtes Leben zu führen - möglichst ohne in einer Betreuungseinrichtung untergebracht zu werden (Meißner, 2007). Die Förderung von Ambient Assisted Living-Projekten wird durch den starken demographischen Wandel, der zumindest europaweit abzusehen ist, motiviert. Der Anteil der alten Bevölkerung wird wegen steigender Lebenserwartung und fallender Geburtenrate, besonders wachsen (Destatis, 2009).

1.3.3. Sound

Lautheit Lautheit ist eine psychoakustische Größe zur Beschreibung der empfundenen Lautstärke. Die Maßeinheit für Lautheit ist das *Sone* (Nave, 2006)

Schalldruckpegel Der Schalldruckpegel ist eine zentrale, messbare Größe in der Akustik. Um den Wertebereich des Schalldrucks auf das menschliche Gehör anzupassen, wurde ein logarithmisches Verhältnis zwischen Bezugswert und dem gemessenen Schalldruck definiert. Folgende Gleichung gilt für den Schalldruckpegel:

$$\text{Schalldruckpegel} = 20 \log_{10} \left(\frac{\text{Schalldruck}}{\text{Bezugswert}} \right) \text{ dB}$$

Schalldruckpegel liegen in der bekannten Größenordnung zwischen 0 dB (Hörschwelle) und etwa 160 dB (Schädigung des Gehörs), ein startendes Flugzeug liegt bei ca. 130 dB (Kremer, 2008).

Klangfarbe Die Klangfarbe (auch Timbre oder Sound-Qualität) ist die Charakteristik von Tönen, die eine Unterscheidung von Tönen gleicher Lautstärke und Tonhöhe erlaubt. Es handelt sich dabei um das Spektrum des Tons, mit z. B. Obertönen, Vibrato, sozusagen die Harmonie des Tons (Nave, 2006). In einem Spektrogramm können die Anteile der Klangfarbe dargestellt werden (vgl. Unterabschnitt 2.2.1).

Tonheit Tonheit ist ein psychoakustischer Begriff für die empfundene Tonhöhe. Die Maßeinheit für Tonheit ist das *Mel* (abgeleitet von „melody“) (Fastl u. Zwicker, 2005)

Tonhöhe Pragmatisch kann die Tonhöhe als Frequenz eines Geräusches definiert werden (Nave, 2006). Meistens spricht man von der Tonhöhe, wenn reine Töne (Sinuston) gemeint sind. Aus allgemeinen Geräuschen kann erst nach Filterung (Tief- oder Hochpass) eine Tonhöhe ermittelt werden (Fastl u. Zwicker, 2005).

1.4. Aufbau der Arbeit

Im folgenden Analyse-Kapitel sollen Techniken und Methoden untersucht werden, Geräusche alternativ oder multimodal darzustellen. Die vorgestellten Ansätze sollen mit existierenden Hilfsmitteln und verwandten Arbeiten verglichen werden. Angemessene Methoden sollen im Kapitel „Systemanalyse und Entwurf“ zum Entwurf eines abstrakten Sound- und Event-Awareness-Systems führen.

In der Systemanalyse wird eine logische Architektur des anzustrebenden Systems behandelt. Dabei sind grundlegende Entscheidungen, wie Systemanforderungen oder die Art der

Kommunikationsinfrastruktur zu fällen. Abschließend sollen geeignete Module und Komponenten vorgestellt werden, die zu einer Realisierung eines konkreten Sound- und Event-Awareness-Systems führen.

Das Kapitel „[Realisierung und Evaluation](#)“ zeigt letztendlich die Schritte zur Realisierung des vorgeschlagenen Systems. Neben konkreten Bauteilen und Schaltplänen soll auf nötige Messungen und Teile der Programmlogik eingegangen werden. Eine abschließende Evaluation des Systems soll sich mit Schwierigkeiten und Grenzen des entwickelten Systems auseinandersetzen.

Als abschließende Betrachtung soll im [Resümee](#) auf wesentliche Erkenntnisse der Masterarbeit eingegangen werden. Des Weiteren sollen zusätzliche Möglichkeiten und zu erwägende Ergänzungen als Ausblick formuliert werden.

2. Analyse

Dieses Kapitel soll Methoden, Konzepte und Herangehensweisen analysieren, um sich einem Sound- und Event-Awareness-System anzunähern. Die nötigen Voraussetzungen werden durch Szenarien abgesteckt. Ein denkbarer Systementwurf wird dabei noch nicht konkretisiert, es werden vielmehr individuelle Ansätze anhand dieser Anforderungen vorgestellt.

Der Schwerpunkt dieser Analyse liegt auf die Darstellung von Geräuschen für Hörgeschädigte. Durch die Tatsache, dass auch weitere, nicht auditive, Ereignisse durch gleichartige Darstellungsformen übermittelt werden können, kann der Fokus auf „Event-Awareness“ in dieser Analyse weniger berücksichtigt werden.

Die Ergebnisse und Schlüsse aus dieser Analyse sollen im Systementwurf berücksichtigt werden. Die geeigneten Techniken aus der Analyse und den verwandten Arbeiten führen im nächsten Kapitel zum Entwurf einer Systemarchitektur.

Fokus: Sound-Events Sound Awareness sollte grundsätzlich bedeuten, dass ein Bewusstsein über alle gegenwärtigen Geräusche gegeben ist. Es sollte jedoch unterschieden werden, ob Geräusche aus identifizierbaren Ereignissen resultieren oder es sich um nebensächliche Geräusche handelt.

In [Ho-Ching u. a. \(2003\)](#) werden zwei Arten von nützlichen Geräuschen identifiziert:

- **Monitored Sounds / Ambient Sounds** sind Geräusche, die darstellen, was im Allgemeinen im Umfeld geschieht und geschehen ist. Sie laufen im Hintergrund ab und rücken nur durch die absichtliche Zuwendung der Aufmerksamkeit des Beteiligten in den Vordergrund.
- **Notification Sounds** bezeichnen bestimmte Ereignisse, die Aufmerksamkeit oder Aktionen benötigen. Dabei wird die Aufmerksamkeit des Beteiligten von der aktiven Tätigkeit auf das Geräusch gelenkt.

Ziel der Analyse Das Ziel der Arbeit ist es, ein Ambient-Intelligence-System zu konzipieren, das Sound Awareness bietet. Analytisch wird in diesem Kapitel das Ziel verfolgt, o.g. Geräuschkategorien, wenn möglich, zu erkennen und entsprechend zu behandeln. Alternativ sollen Methoden erarbeitet werden, die den Benutzern erlauben, beide Geräuscharten in nicht-auditiver Wiedergabeform wahrzunehmen und u.U. selbst zu erkennen. Weiterhin sollen Möglichkeiten zur Klassifizierung, Bestimmung des Informationsgehaltes sowie Filterung von Geräuschen durch ein rudimentäres Ambient-Intelligence-System respektive Awareness System beleuchtet werden.

Abgrenzung Diese Arbeit befasst sich nicht mit dem Erkennen und Klassifizieren von Geräuschen mittels mathematischen bzw. stochastischen Verfahren, wie der *Short-Time-Fourier-Transformation* oder dem *Hidden Markov Model*, sondern deren Aufbereitung und Darstellung um Sound Awareness zu erreichen. Für weitere Informationen zur Klassifizierung von Geräuschen siehe [Macho u. a. \(2005\)](#), [Temko u. a. \(2006\)](#) und [Doukas u. Maglogiannis \(2008\)](#). In [Unterabschnitt 2.4.1](#) wird gleichwohl ein System dieser Art vorgestellt.

2.1. Szenarien

Um eindeutig darzustellen, für welche Situationen ein Sound- und Event-Awareness-System einen Mehrwert bietet oder sogar zur Verbesserung einer diffizilen Angelegenheit führen kann, sollen verständliche Szenarien dargestellt werden. Dabei sollen einerseits die nötigen Voraussetzungen abgeleitet und konkretisiert, sowie andererseits entbehrliche Aspekte als solche erkannt werden.

2.1.1. Hauptszenario: Schreiendes Baby (erste Iteration)

Folgendes Szenario ist als abstrakte Idee in [Meißner \(2007\)](#) entstanden und wurde in [Meißner \(2008\)](#) präzisiert. Die grundsätzliche Idee, ein komplexes Ambient-Intelligence-System zu konzipieren, um eine akzeptable Sound-Awareness-Umgebung zu realisieren, scheint für diese Masterarbeit bedingt angemessen zu sein. Dennoch soll die Evolution der Idee nachvollziehbar dargestellt werden, um in [Unterabschnitt 2.1.2](#) die nächste Iterationsstufe zu erreichen.

Beschreibung

- Das Kind gehörloser Eltern spielt im Kinderzimmer, während die Mutter sich mit Freunden in der Küche unterhält. Der Vater ist nicht im Haus. Plötzlich fällt das Kind unglücklich und schreit, bzw. ruft um Hilfe. Die Mutter bekommt von den Hilferufen nichts mit, wodurch das Kind gefährdet ist.
- Während eine gehörlose Person ein Buch liest, entsteht in der Küche eine Verpuffung. Die Person bekommt nichts mit und ist selbst in akuter Gefahr, da sich ein Brand entwickeln kann.

Problem: Geräusche mitbekommen und assoziieren Hörgeschädigte, speziell gehörlose Personen, sind nicht direkt darauf angewiesen, jedes Geräusch mitzubekommen und einem Ereignis zuzuweisen. Im Falle einer Gefahrensituation kann es für den Hörgeschädigten dennoch sehr wichtig sein, zu wissen, was geschehen ist. Stark schwerhörige oder gehörlose Personen spüren im Normalfall eine Vibration bei tiefen und dumpfen Tönen, hohe Töne werden meistens nicht bemerkt. Voraussetzung ist hierbei, dass das Geräusch sehr laut ist und die Person sich in einem Umfeld befindet, welche die Vibration begünstigt (Holzboden, kleiner Raum). Trotz der Vibration ist es nicht einfach, die Quelle des Geräuschs ausfindig zu machen.

Aktueller Stand Für hörgeschädigte Personen existieren zahlreiche Hilfsmittel, um Geräuschquellen zu überwachen. Üblich ist dies bei der Türklingel oder als Babyfon-Zusatz. Diese Hilfsmittel bestehen aus einfachen Mikrofonen, die direkt neben der Geräuschquelle platziert werden, und Blitzlichtmeldern, die im besten Fall in der gesamten Wohnung verteilt sind. Da bei diesen Geräten sehr selektiv, meist bis zu 4 Geräuschquellen überwacht werden, ist eine Reaktion auf unerwartete Geräusche fast unmöglich. [Unterabschnitt 2.2.5](#) bietet eine Übersicht verfügbarer Hilfsmittel.

Vision Ein möglicher Ablauf wäre:

1. Geräusch entsteht
2. Sensoren bzw. Mikrofone identifizieren die Quelle
3. Dynamische „Filter“ ermitteln den Informationsgehalt
4. Allgemeine Meldung mittels Blitzlicht auslösen
5. Informationen über Ort und Typ des Geräuschs ausgeben
6. Feedback des Benutzers verarbeiten

Ein entstandenes Geräusch (1) kann durch spezielle Anordnungen mehrerer Mikrofone (sog. Mikrofonarrays, vgl. [Mumolo u. a., 2000](#)) lokalisiert werden (2). Entsprechend dem Profil in der Aml-Umgebung kann auf jedes Geräusch oder nur auf außergewöhnliche Geräusche reagiert werden. Durch Feedback des Benutzers (6) ist die Berechnung des Informationsgehalts sowie die Bewertung der Signifikanz einer Meldung möglich (3). Neben der allgemeinen Notifikation durch Blitzlicht (4) wird möglichst genau der Ort der Geräuschquelle angezeigt. Falls das Ambient-Intelligence-System das aufgenommene Geräusch schon kennt, können weitere Informationen ausgegeben werden (z. B. „Zuschlagendes Fenster im Wohnzimmer“), alternativ kann mittels weiteren Feedbacks das Geräusch spezifiziert werden (5, 6).

Ausgabe Die Anzeige des genauen Orts des Geräusches könnte mithilfe von Beleuchtung analog einem Laser-Pointer realisiert werden. Dazu müsste in jedem Raum eine solche Lichtquelle angebracht werden, die vom Ambient-Intelligence-System gesteuert wird. Zur Vereinfachung wäre es möglich, neben der Ausgabe des Geräuschtyps, auch den Ort, z. B. anhand des Grundrisses der Wohnung, auf einem Bildschirm auszugeben. Auch komplett ohne Lokalisierung der Quelle könnte dieses System durch allgemeine Meldungen auf Gefahren hinweisen.

Das ebenfalls in [Meißner \(2007\)](#) vorgestellte Szenario behandelt das Problem, weniger Informationen aufgrund eingeschränkter Wahrnehmung zu bekommen. Das Szenario handelt von gehörlosen Eltern, die nicht mitbekommen können, dass ihr Kind unglücklich gestürzt ist. Das nach der Mutter rufende Kind ist unter Umständen akut gefährdet. Die Eltern erfahren jedoch erst von dem Unfall, wenn sie nach dem Kind schauen.

Folgende Aufgaben sind zu bewältigen, um Sound Awareness in einer Ambient Assisted Living-Umgebung bereitzustellen:

- Geräusch registrieren
- Geräuschquelle identifizieren
- Ereignis anhand des Geräusches erkennen
- Geräusch intuitiv visualisieren
- Geräuschquelle auf einem Grundriss des Raumes anzeigen

2.1.2. Hauptszenario: Schreiendes Baby (zweite Iteration)

Grundsätzlich ist das Interpretieren und womögliche Kategorisieren von Geräuschen eine vielschichtige Aufgabe. Weiterhin ist das eindeutige, absolute Lokalisieren von Geräuscheignissen auch nur mit großem Aufwand möglich. Verschiedene Arbeiten und Forschungsprojekte ziehen für diese Aufgaben größere Mengen Mikrofone und leistungsstarke Rechner

heran. Für genauere Informationen über die Komplexität dieser Aufgaben siehe [Unterabschnitt 2.4.1](#), CHIL - Computers In the Human Interaction Loop. Das Szenario soll in dieser Iteration so stark vereinfacht werden, dass es

- a) Autonom und u. U. autark ist.
- b) keine feste Installation von Infrastruktur benötigt.
- c) kostengünstig ist.
- d) kompakt ist (vorerst optional).
- e) benutzerfreundlich zu bedienen ist.

Aufgrund dessen wird das Szenario neu beschrieben. Der Fokus liegt dabei auf Pervasive Computing; gewissermaßen eine Vernetzung durch „intelligente“ Gegenstände. Es soll demnach auf ein zentrales Ambient-Intelligence-System verzichtet und statt dessen ein Awareness System aus „intelligenten Komponenten“ konstruiert werden.

Beschreibung Die Situationsbeschreibung ist mit dem Szenario der ersten Iterationsstufe identisch. Folgende Anmerkungen sollen die gegenwärtige Umgebung konkretisieren.

- [...]Das Kind gehörloser Eltern spielt im Kinderzimmer, stürzt und ruft um Hilfe. Die Mutter bekommt von den Hilferufen nichts mit[...] Eine Lichtklingel-Anlage ist installiert, diese kann jedoch die Geräusche im Kinderzimmer nicht erfassen. Blitzlicht-Melder sind in der gesamten Wohnung verteilt.
- [...]In der Küche ereignet sich eine Verpuffung. Die Person ist in akuter Gefahr[...] Die Rauchmelder schlagen erwartungsgemäß Alarm, sind jedoch nicht für hörgeschädigte Personen ausgelegt. Die vorhandene Lichtklingel-Anlage ist nicht mit den Rauchmeldern verbunden.

Veränderte Problemstellung: Geräusche wahrnehmen auf nicht-akustischem Weg kommunizieren Die Sound-Awareness-Umgebung soll Gehörlose durch einfache Benachrichtigung über den Ort, die Art und die Intensität von Ereignissen, speziell Schallereignissen, informieren. Es wird also ein Weg gesucht, durch intelligente Geräte ein Geräusch zu identifizieren, dieses u. U. zu bewerten und anschließend in der Umgebung bekannt zu geben. Zur Kommunikation sowie Repräsentation der Ereignisse ist die Verwendung der gleichen Geräte, die zur Erfassung von Geräuschen verwendet werden sollen, anzustreben. Eine Analyse möglicher Methoden zur Darstellung von Geräuschen soll in dieser Masterarbeit ([Abschnitt 2.2](#)) durchgeführt werden. Ziel der weiteren Analyse soll eine Entscheidung über geeignete Ansätze unter Berücksichtigung der ursprünglichen Zielformulierung des Sound- und Event-Awareness-Systems ([Kapitel 2](#)) sein.

Aktueller Stand Vorhandene Lösungskonzepte und Hilfsmittel bzgl. Sound- und Event-Awareness werden im [Unterabschnitt 2.2.5](#) vorgestellt.

Vision der zweiten Iteration Der Ablauf wird aus der in der Problemstellung beschriebenen Herangehensweise in folgenden Schritten konkretisiert:

1. Geräusch entsteht
2. Intelligente Komponente identifiziert das Geräusch anhand von Sensoren
3. Die Signifikanz und wenn möglich, die Art des Ereignisses, durch Interpretation und Bewertung ermitteln (optional)
4. Die intelligente Komponente propagiert das Ereignis zu allen anderen Komponenten des Awareness Systems - vorzugsweise per Funk
5. Alle Komponenten des Awareness Systems repräsentieren das Ereignis inklusive jeweiliger Details (Ort, Intensität, etc...)
6. Benutzer kann die Meldung per Knopfdruck bestätigen (optional)

Die intelligenten Komponenten sind in der gesamten Testumgebung (Sound-Awareness-Umgebung) verteilt und können per Funk miteinander kommunizieren (4). Ein Geräuscheignis (1) nahe einer solchen Komponente wird durch Sensoren (z. B. Mikrofon) erkannt (2) und optional durch einfache Kriterien bewertet (3). Bewertungskriterien könnten z. B. die Mindestlautstärke oder die Frequenz eines Geräuschs sein. Nach der Ausgabe (5, s. u.) kann, falls nötig, das Ereignis bestätigt werden (6). Dadurch wäre eine Interaktion mit einem Ereignissender, der dieses Ereignis kontinuierlich erneut melden würde (z. B. Piepender Eierkocher: lang anhaltender Ton) denkbar. Erst abweichende Ereignisse würden dann wieder eine neue Meldung induzieren (4).

Ausgabe Entgegen der Ausgabeformulierung in der ersten Iteration ([Unterabschnitt 2.1.1](#)) soll für das neue Szenario eine möglichst unaufwändige und dennoch leicht zu verstehende Ausgabeform gewählt werden. Ein Schwerpunkt liegt dabei auf Peripheral Awareness mit Augenmerk auf Glanceability (vgl. [Abschnitt 1.3](#)). Die Ausgabe soll demnach wenig Aufmerksamkeit erfordern und im besten Fall intuitiv verständlich sein.

Denkbar ist der Einsatz von Beleuchtung und Vibration. Anders als bei existierenden Hilfsmitteln soll jedoch die Identifikation der Quelle, sowie eine Unterscheidung der Geräuschintensität oder Signifikanz des Ereignisses möglich sein. In [Matthews \(2007\)](#) und [Nanayakkara u. a. \(2007\)](#) werden Methoden vorgestellt, die mit Farben und Symbolik arbeiten, um möglichst viele Informationen einfach und schnell erfassbar darzustellen. Durch Leuchtmittel, angesteuert mit unterschiedlichen Farben und wechselnder Helligkeit, sowie Intervalldauer,

kann ein so genanntes *Peripheral Display* umgesetzt werden. Eine ähnliche Ausgabeform wird in [Brewer u. a. \(2007\)](#) eingesetzt.

2.1.3. Benachrichtigung

Grundsätzlich sollen alle Ereignisse zu einer Benachrichtigung führen. Die Entscheidung, auf diese Benachrichtigung nicht zu reagieren, oder diese für die Zukunft abzuschalten (Filter) oder zu ignorieren, soll in der Verantwortung des Benutzers liegen.

Die Benachrichtigungsarten selbst sollen sich in den folgenden Fällen stark unterscheiden. Wichtigere Ereignisse sollen schneller erkennbar sein und keine Zweifel in der Ausgabe aufbringen.

Allgemeine Geräuscheignisse

Eine Benachrichtigung über allgemeine, jedoch nicht nebensächliche Ereignisse, sollte unübersehbar den Ort der Geräuschquelle beinhalten. Informationen über Intensität oder Klangfarbe können vernachlässigt werden. Häufig werden diese allgemeinen Geräuscheignisse erwartet und benötigen deshalb wenig weitere Informationen.

Beispiele für Ereignisse dieser Art: Personenruf, summender Eierkocher oder Türklingel

Notfall

Anders als die allgemeinen Ereignisse ist im Notfall die Auffälligkeit und Eindeutigkeit der Benachrichtigung ausschlaggebend. Beispielsweise sollten Rauchmelder im Notfall alle Ausgabekomponenten kontinuierlich benachrichtigen. Die Ausgabeform sollte nicht zu übersehen (z. B. Blitzlicht) und wenn möglich multimodal sein (Vibration, Alarmton). Auch wenn der Alarmgeber keine Benachrichtigungen mehr sendet, darf der Alarm selbst nicht eingestellt werden. Frühestens nach Bestätigung durch den Benutzer, sollten die Ausgabekomponenten verstummen.

Nebensächliche Geräusche

Für Gehörlose kann das Erhalten von Benachrichtigungen über nebensächliche Geräusche eine Erweiterung sozialer Erfahrungen sein. Nach Filterung von Hintergrundgeräuschen sollten alle Ereignisse zu einer Benachrichtigung führen. Die Unterscheidbarkeit zwischen allgemeinen Ereignissen und Notfällen muss ohne Zweifel gewährleistet sein. Aus dem Grund

ist es nötig, nebensächliche Geräusche dezent und unaufdringlich darzustellen. Eine Option wäre leichtes Pulsieren der Beleuchtung der Ausgabekomponenten in Farbe des Ortes der Geräuschquelle.

Beispiele für nebensächliche Geräusche sind: Bürokollegen, Haustiere, Musik

2.2. Darstellung von Geräuschen

Um Sound Awareness zu erreichen, sind im Optimalfall alle Hörereignisse, die hörende Menschen wahrnehmen, durch ein Awareness System darzustellen. Hörgeschädigte Menschen nutzen üblicherweise verschiedene Methoden, um aus Schallereignissen Informationen zu gewinnen. In der Regel bestehen dabei jedoch Einschränkungen, wie fehlende Möglichkeit zur Interpretation oder die Voraussetzung ständiger, visueller Überwachung. [Tabelle 2.1](#) lässt erkennen, dass häufig nur eine Kombination der verschiedenen Methoden eindeutige Informationen bietet. Um pure Aufmerksamkeit zu gewinnen, bzw. Menschen zu sich zu rufen, genügen pragmatische Mittel, wie das Ein- und Ausschalten von Beleuchtung oder kräftiges Stampfen auf dem Boden, um Vibrationen zu erzeugen. ([Moore u. Levitan, 2003](#), S. 434)

Technique	Application	Characteristics	Cons
Vibration sensing	Awareness of sounds that create vibration, e.g. sensing footsteps, feeling that a computer is on	Does not require focus of attention Supports some ambient and some notification sounds	Depends on infrastructure (e.g., having hardwood floors)
Flashing lights	Awareness of telephones, doorbells (Notification sounds)	Supports notification sounds	Fixed visual attention Must hook up each device
Hearing Dogs	Awareness of all sounds	Supports notification sounds only	Requires ongoing maintenance Requires <i>a priori</i> training per sound
Visual Inspection	Multiple applications, e.g., Steam for a kettle, Looking out the window for the arrival of a guest	Sometimes is the only alternative Some ambient, some notification	Different for each sound Polling rather than interrupt based
Hearing Aids, Cochlear Implants	Enhancing existing hearing, but not at the fidelity of „normal“ hearing	Enhances awareness of all sounds	Requires training for interpretation of sounds Results vary by case

Tabelle 2.1.: Taxonomie bestehender Sound Awareness Methoden gehörloser Menschen ([Ho-Ching u. a., 2003](#))

2.2.1. Darstellung der Charaktereigenschaften von Geräuschen

Geräusche können grundsätzlich durch *Lautheit*, *Klangfarbe* und *Tonhöhe (oder besser Tonheit)* charakterisiert werden (Nave, 2006). Es muss zwischen Schallereignis und Hörereignis unterschieden werden. Schallereignisse lassen sich durch physikalische Größen beschreiben, Hörereignisse wiederum weisen psychoakustische Parameter auf. Dabei geht es um die menschliche Empfindung von Schallereignissen, also deren auditive Wahrnehmung. Eine Darstellung von Geräuschen besteht also aus der Messung von physikalischen Größen, wie Schalldruckpegel, Frequenz, Spektrum und Position und die Repräsentation dieser Werte in „Quasi-Empfindungsgrößen“, die jedoch vom Benutzer nicht akustisch auszuwerten sind.

Nachfolgend werden Möglichkeiten zur Repräsentation und Interpretation von Schallereignissen mit ihren jeweiligen psychoakustischen Größen aufgeführt.

VU Meter (Lautheit 🗣️)

VU Meter sind durch Kassettendecks an Stereoanlagen oder durch die Verwendung in Audio-Software allgemein bekannt. Ein VU Meter stellt den Signalpegel in „Lautstärkeeinheiten“ dar (Volume Units), es wird also die wahrgenommene Lautheit von Tonmaterial wiedergegeben. Mit dieser recht rudimentären Methode kann sehr schnell auf die Existenz von Geräuschen geschlossen werden. Dabei kann auch einfach abgelesen werden, ob es sich um ein lautes Geräusch handelt.



Abbildung 2.1.: Analoges VU Meter (Wikipedia, 2009)

Sonogramm (Klangfarbe 🌈, Tonheit 🎵, Lautheit 🗣️)

Ein Sonogramm ist ein Spektrogramm von Schallvorgängen (Abbildung 2.2). Sonogramme stellen dabei den zeitlichen Verlauf, die Frequenz und akustische Energie dar. Verwendung

finden Sonagramme u.a. bei der Analyse von Sprachsignalen. Diese Form der Darstellung dient nur bedingt der Repräsentation von Geräuschklassen. Vielmehr kann der Benutzer durch wiederkehrende Muster erkennen, um welchen Klang es sich handeln könnte. In Kombination mit anderen Darstellungsmethoden kann ein Sonagramm Hörgeschädigten helfen, auditive Wahrnehmung selbständig zu erfahren. Ein Zitat eines gehörlosen Teilnehmers aus den Untersuchungen von [Ho-Ching u. a. \(2003\)](#), verdeutlicht den Nutzen eines Sonagramms.

When I first set up the display, I had to explain how it worked to my fellow officemates in the other room. They were fascinated and wanted to learn more about the sounds that could be detected - they liked watching the patterns of the sounds. So we were testing the display by knocking on the office door... speaking, setting the mobile phone to ring. The display performed excellently on these counts - it could show the sounds.

*Deaf Participant
Ho-Ching u. a. (2003)*

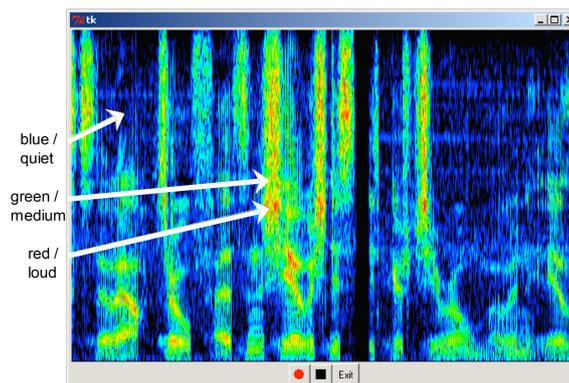


Abbildung 2.2.: Sprachvisualisierung mittels Sonagramm ([Matthews u. a., 2006](#))

Eine Arbeit von [Doukas u. Maglogiannis \(2008\)](#) zeigt, dass die Analyse und Auswertung eines Sonagramms Aufschlüsse über die Stressbelastung der Probanden ermöglicht. Durch eine auf Short-Time-Fourier-Transformation (STFT) basierende Spektrogramm-Analyse können auch Stürze erkannt werden (siehe [Abbildung 2.3](#)). Die Short-Time-Fourier-Transformation betrachtet dabei nur einen zeitlich begrenzten Teil (Fensterfunktion) des Signals ([Gröchenig, 2001](#)). Als Einsatzmöglichkeit nennen [Doukas u. Maglogiannis](#) ein „Patient Status Awareness System“, das auf Bewegungs- und Sound-Daten reagieren soll. Die „Sound Data Feature Extraction“ genannte Spektrogramm-Analyse führt anschließend zu einer Klassifikation der Daten (vgl. auch [Unterabschnitt 2.2.2](#)). Für weiterführende Informationen über STFT und Fourieranalyse im Allgemeinen sei hier auf [Gröchenig \(2001\)](#) verwiesen.

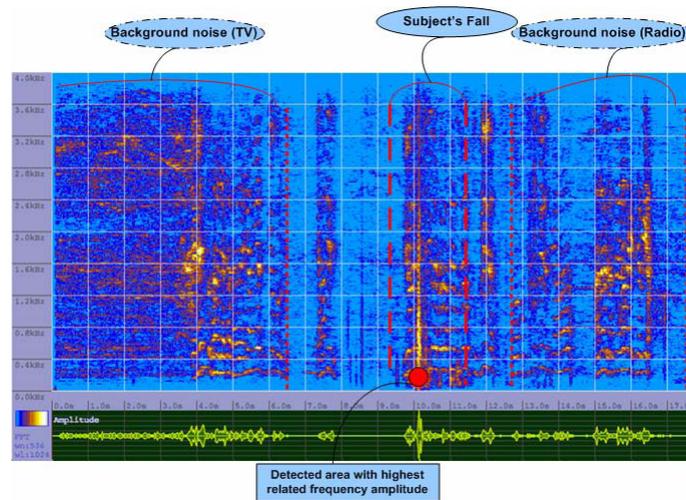


Abbildung 2.3.: Spektrogramm-Analyse gesammelter Sound-Daten während eines Sturzes (Doukas u. Maglogiannis, 2008)

Visualization-Plugins (Lautheit 🗣️), Klangfarbe 🌈, Tonheit 🎵)

Aktuelle Mediaplayer bieten schon seit langer Zeit so genannte *Visualization-Plugins* an. Diese Plugins bieten eine mehr oder weniger gute Live-Visualisierung der gegenwärtig wiedergegebenen Musik. Verwendung findet diese Art der Darstellung in Musikvideos und als Medienbegleitung auf Privatfeiern oder größeren Veranstaltungen.

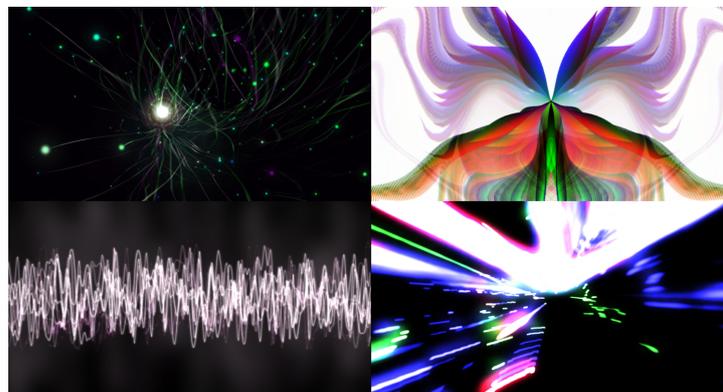


Abbildung 2.4.: Visualization Plugins verbreiteter Mediaplayer (iTunes¹, Winamp²)

Diese *Real-Time Visualizations* sind im Regelfall allerdings nur als eine Ergänzung zur Musik vorgesehen, sie bieten keinerlei Erlebnis der Musik selbst. Die Arbeit von Nanayakkara u. a.

¹iTunes Visualizer: <http://www.apple.com/itunes/>

²Winamp: <http://www.winamp.com/> - Milkdrop 2.2 Visualization von Ryan Geiss: <http://www.geisswerks.com/>

(2007) zeigt einen Ansatz, Musikerlebnisse durch *Audio-visual mapping*, also der Zuweisung musikalischer Merkmale zu visuellen Effekten, in einem Visualisierungs-Schema abzubilden. Als bedeutende Recherchemöglichkeit wird eine Ausprägung von „Synästhesie“ genannt, bei der das Hören von Tönen mit der Wahrnehmung eines anderen Sinnes gewissermaßen verknüpft ist. Musik-Farben-Synästhetiker erleben neben dem Hören also auch das Sehen von Tönen, üblicherweise mit fest assoziierten Farben und Formen. Erfahrungen von Synästhetikern können so nützlich sein, um intuitiv fassbare Darstellungen mit passenden Tönen zu kombinieren (vgl. [Abbildung 2.5](#)).

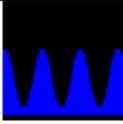
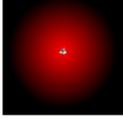
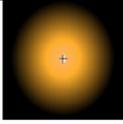
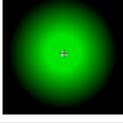
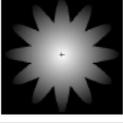
Instrument	Visual Effect	Instrument	Visual Effect
Bass Drum Effect: Wave (Pulsating up and down) Colour: Blue Screen position: Bottom edge of the screen		Closed Hi-Hat Effect: Bursting effect Colour: Yellow Screen position: Lower-Left of the screen	
Snare Drum Effect: Sphere fading away Colour: Red Screen position: Lower-Middle of the screen		Ride Cymbal Effect: Star falling down Colour: Silver Screen position: Top-Middle of the screen	
Hi Tom Effect: Sphere fading away Colour: Gold Screen position: Lower-Right of the screen		Crash Cymbal Effect: Firework effect Colour: Red Screen position: High-Middle of the screen	
Hi Bongo Effect: Sphere fading away Colour: Green Screen position: Lower-left of the screen		Piano note Effect: Star-like object fading away Colour and screen position: depends on the note class (C, C# ect)	

Abbildung 2.5.: Audio-Visuelles Mapping unterschiedlicher Instrumente ([Nanayakkara u. a., 2007](#))

Visualisierungen dieser Art scheinen tatsächlich die Musik durch optische Effekte wiederzugeben. Es gibt allerdings keine dem Autor bekannte wissenschaftliche Untersuchung darüber, ob und wie Visualisierungen dieser Art Auswirkungen auf das Musikerlebnis gehörloser Menschen hat.

Untertitel, Emotive Captioning, Ambient Light

Verwendung von Untertiteln, speziell sogenanntes *Emotive Captioning*, kann ein integraler Bestandteil zum Erreichen von Barrierefreiheit in Film und Fernsehen sein. Untertitel für Hörgeschädigte geben mehr als nur den puren Filmdialog wieder. Symbole (♪), Beschreibungen (*[Schuss fällt]*) und Labels (*Joe: How are you?*) sind nur wenige der häufig eingesetzten

Maßnahmen (Hellebrand, 2007). Die teilweise in den Untertiteln vorhandenen „Metainformationen“ könnten verwendet werden, um Ereignisse auszulösen. Vorstellbar wäre ein System, das Untertitelzeilen parsen und auf diese Weise relevante Ereignisse erkennen kann. Aus dem Untertitelfragment „[Türklingel] - Öffnest du bitte die Tür? - [Schritte]“ könnten die Ereignisse *Türklingel* und *Schritte* isoliert und in anderer Form dargestellt werden.

Eine alternative Form der Untertitelung wird in LEE u. a. (2007) unter der Bezeichnung *Emotive Captioning* vorgestellt. Dabei geht es um eine Anreicherung von Untertiteln durch Informationen über Emotionen und Beschreibung der musikalischen Untermalung. Durch Icons ist grundlegend zu erkennen, dass die aktuelle Szene mit Musik hinterlegt ist, aber auch dass es sich um ein schnelles Musikstück handelt. Die Dialoge selbst können nahe am entsprechenden Akteur platziert werden (dynamisch) oder an üblicher Position verbleiben (statisch). Informationen über emotionale Konnotation sollen beim *Emotive Captioning* mittels Farbe und Emoticons übermittelt werden.

Ambient Light soll hier stellvertretend für alle Arten „atmosphärischer Beleuchtung“ stehen. Insbesondere dynamisch auf umliegende Wände projizierte Umgebungsbeleuchtung bei Fernsehgeräten, namentlich „Ambilight“ (Philips Electronics³) bzw. die OpenSource Alternative „Atmolight“⁴, ermöglicht eine Erweiterung der medialen Wahrnehmung. Die Beleuchtungsparameter (z. B. Farbe, Helligkeit) werden zur Laufzeit aus dem anzuzeigenden Filmmaterial ermittelt, wodurch gewissermaßen eine Vergrößerung der Bildfläche erreicht wird. Grundsätzlich wird auf diese Weise nur die optische Information des Films verstärkt, akustische Merkmale fließen nicht ein.

Eine Kombination der Metainformationen aus Untertiteln mit einer Repräsentation durch *Ambient Light* wäre denkbar. Beispielsweise könnte die Information „[Schuss fällt]“ als Ereignis „Schuss“ isoliert und unter Einsatz von „Atmolight“ als heller Blitz im Raum wahrnehmbar sein.

Haptik: Vibration und vibrotaktile Stimulation

Eine bedeutende Erweiterung der Wahrnehmung für Hörgeschädigte ist die Verwendung von Vibration. Vibrationssignalgeber werden gewöhnlich in Mobiltelefonen und Gamecontrollern, aber auch in Vibrationsweckern für Hörgeschädigte verwendet. Persönliche Erfahrungen zeigen, dass einfachste Geräte mit Vibration nützlich wären, um Gehörlose zu sich zu rufen (Personenruf). Vorstellbar wären Geräte, die mittels Funktechnik (Bluetooth, W-LAN), Vibrationsalarm senden und empfangen können, d. h. ein Knopfdruck ruft die Person zu sich. Diese Art der Sound Awareness würde zusätzlich für Taubblinde besonders hilfreich sein. [Abbildung 2.6](#) zeigt ein Vibrations-Armband, das via Bluetooth kommuniziert.

³Ambilight von Philips Electronics: <http://www.aurea.philips.com/>

⁴Atmolight von Carsten Presser: <http://ca.rstenpresser.de/>



Abbildung 2.6.: Bluetooth Vibrations-Armband⁵

Gunther u. a. stellen ein System für „Taktile Komposition“ vor, das vibrotaktile Signalgeber verwendet, um so den gesamten Körper eines Probanden stimulieren zu können. Vorteile, wie einfache Ansteuerung und Nähe an realistischer Musikempfindung, sind Gründe, vibrotaktile Stimulation gegenüber alternativen haptischen Stimuli zu verwenden (Gunther u. a., 2002). Dieses *Cutaneous Grooves* genannte System nutzt einen Sequenzer, um die getrennten Audiospuren mittels MIDI und D/A-Wandler an die vibrotaktile Signalgeber zu senden. Die Kompositions-Umgebung bietet dementsprechend keine native vibrotaktile Repräsentation der Töne, sondern eine vorverarbeitete Interpretation der tatsächlich natürlichen Vibrationen des Musikstücks. In Nanayakkara u. a. (2009) wird dagegen der Ansatz verfolgt, die unveränderten Vibrationen, die durch Töne entstehen, an den Probanden weiterzugeben. Infolgedessen bietet der in der Arbeit beschriebene *Haptic Chair* praktisch eine einfache Verstärkung der natürlichen Schwingungen.

Bei beiden Methoden zeigte sich durch Evaluation mit Testpersonen, dass vibrotaktile Stimulation durchaus geeignet ist, musikalische Erlebnisse zu steigern, respektive Gehörlosen eine alternative Repräsentation von Tönen zu bieten. Vor allem gehörlose Musiker oder musikinteressierte Hörgeschädigte berichteten von einer wesentlichen Anreicherung bzgl. ihrer auditiven Wahrnehmung (Nanayakkara u. a., 2009; Gunther u. a., 2002).

2.2.2. Explizite Darstellung der Geräuschklasse

Geräuschklassen bezeichnen Gruppen, in die Schallereignisse eingeordnet und entsprechend dargestellt werden können. Im CHIL-Projekt wurde bei der Klassifizierung mittels Hidden Markov Models eine Treffergenauigkeit von 95% erreicht⁶ (CHIL Demo, 2006). Nach einer erfolgreichen Klassifizierung ist es nötig, die Information so darzustellen, dass ein hörgeschädigter Benutzer das Schallereignis intuitiv versteht. Um herauszufinden, wie hörende Menschen intuitiv Geräusche visualisieren würden, wurde folgende Untersuchung durchgeführt: Mehrere Probanden wurden aufgefordert, drei Geräusche zu zeichnen; Schritte, Klin-

⁵LM Technologies - Bluetooth Bracelet: www.lm-technologies.com

⁶Die Demonstration wurde unter Laborbedingungen durchgeführt

geln eines Telefons und eine Unterhaltung. Dabei zeigte sich, dass 65% der Zeichnungen die Schallquelle selbst beinhalteten und bei 59% der Zeichnungen der Schall in Wellenform dargestellt wurde (Ho-Ching u. a., 2002). **Abbildung 2.7** zeigt eine Zeichnung eines Probanden mit den typischen Schallwellen (z. B. kurz und zackig für einen schrillen Ton).

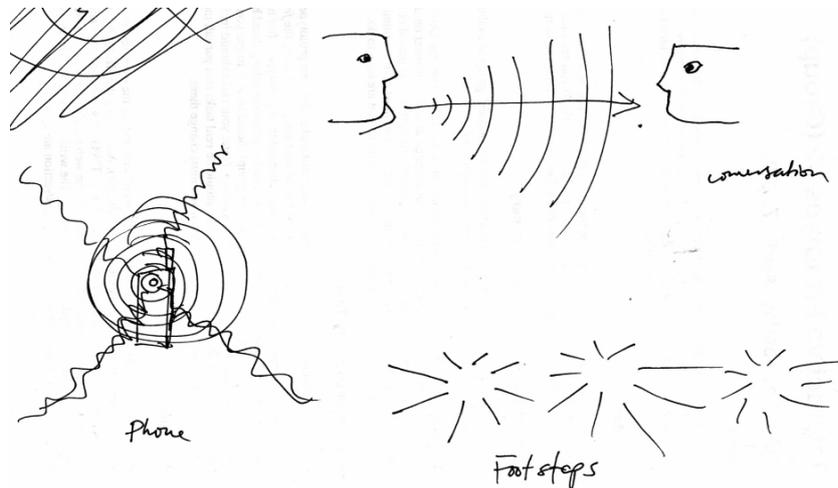


Abbildung 2.7.: Von hörenden Probanden gezeichnete Symbole zur Darstellung von Geräuschen (Ho-Ching u. a., 2002)

Symbole/Icons

Nach einer erfolgreichen Klassifizierung können Icons als Metaphern benutzt werden. Für die Verwendung von Metaphern spricht die meist einheitliche Interpretation der Benutzer. Das setzt jedoch voraus, dass die Geräusche eindeutig klassifiziert wurden, da sonst eine solche Vereinfachung irreführend wäre. Durch Nuancen im Geräusch können Hörende z. B. erkennen, dass eine Tür geöffnet und nicht geschlossen wurde, weshalb auch unterschiedliche Icons sinnvoll wären. Bei Unsicherheiten in der Klassifizierung sollte in den Darstellungen darauf hingewiesen werden. Matthews u. a. (2006) signalisiert die Sicherheit, mit der das Geräusch klassifiziert wurde, durch Ausgrauen des Icons und zusätzlichen Angaben (High, Medium, Low); siehe **Abbildung 2.8**.

2.2.3. Darstellung des Ortes

Neben dem Erkennen von Geräuschen ist es essentiell, auch den Ort der Schallquelle zu ermitteln. Beispielsweise kann eine gehörlose Person mit der Information, dass etwas her-



Abbildung 2.8.: Darstellung von Geräuschklassen durch Icons ([Matthews u. a., 2005b](#))

untergefallen ist, nicht mehr anfangen, als die Umgebung abzusuchen, um den betroffenen Gegenstand zu finden. Exaktes Lokalisieren von Geräuschen ist von zahlreichen Parametern abhängig, z. B. der Beschaffenheit von Räumlichkeiten, den Hintergrundgeräuschen und vor allem der Anzahl der Mikrofone. Sogenannte Mikrofonarrays bieten mit zunehmender Anzahl von geeigneten Mikrofonen höhere Genauigkeit bei der Lokalisierung. Im CHIL-Projekt wird ein Aufbau von vierzehn Mikrofonen verwendet - ein hoher Installations- und Hardwareaufwand ([Macho u. a., 2005](#)). Um einerseits die komplexen Anforderungen der Lokalisierung zu erfüllen und andererseits unabhängig auf geortete Geräusche reagieren zu können, verwendet das System in [Mumolo u. a. \(2000\)](#) einen Dienst, der die Lokalisierung durchführt, um autonomen Robotern diese Informationen bereitzustellen. Nachteil dieses Systems ist jedoch die Abhängigkeit von der räumlichen Installation des Lokalisierungsdienstes.

Der ermittelte Ort des Geräuscheignisses kann absolut oder relativ dargestellt werden.

Karten

Eine Kartendarstellung ist eine denkbar intuitive Art der Darstellung. Für den Benutzer ist dadurch sehr schnell und klar ersichtlich, wo Geräusche entstanden sind. Diese Darstellungsform benötigt jedoch absolute Koordinaten. Weiterhin muss das Umfeld ausgemessen und Kartenmaterial verfügbar sein. In der [CHIL Demo \(2006\)](#) wird ein solches System demonstriert, das in Echtzeit den Ort und die Art von Geräuschen liefert.

Head-Up-Display (HUD)

Head-Up-Displays sind im Allgemeinen durch Computerspiele bekannt, werden aber auch in Cockpits von Flugzeugen eingesetzt. HUDs projizieren Informationen auf das vorhandene Sichtfeld des Benutzers. Der augenfällige Vorteil eines HUDs ist, dass der Blick nicht abgewendet werden muss, um diese Informationen zu sichten ([Wikipedia, 2010b](#)). [Abbildung 2.10](#) zeigt eine vorstellbare Umsetzung zur Anzeige der relativen Positionen von Geräuschen durch ein virtuelles HUD. Die Richtungsangaben beziehen sich dabei auf die Perspektive des Computernutzers. Linker und rechter Rand beziehen sich auf Geräusche links

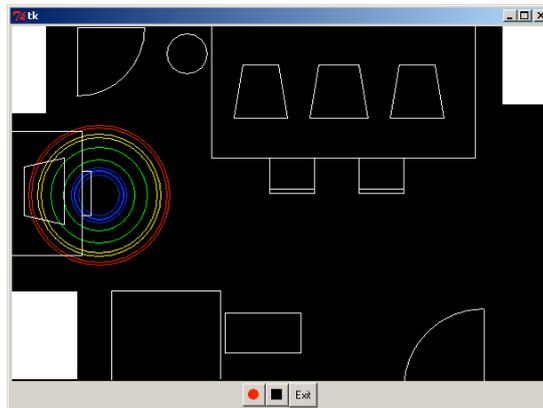


Abbildung 2.9.: Prototypische Kartendarstellung aus [Matthews u. a. \(2006\)](#)

und rechts von dem Benutzer, der obere Rand repräsentiert den Raum hinter dem Monitor und der untere Rand wiederum den Raum hinter dem Benutzer bzw. vor dem Monitor.

Die Symbole sind als Metaphern zu verstehen und zeigen Geräuschklassen, wie z.B. ein Gespräch (links) oder ein unbekanntes Geräusch mit der Angabe der Lautheit mit normalisiertem Wert (unten).

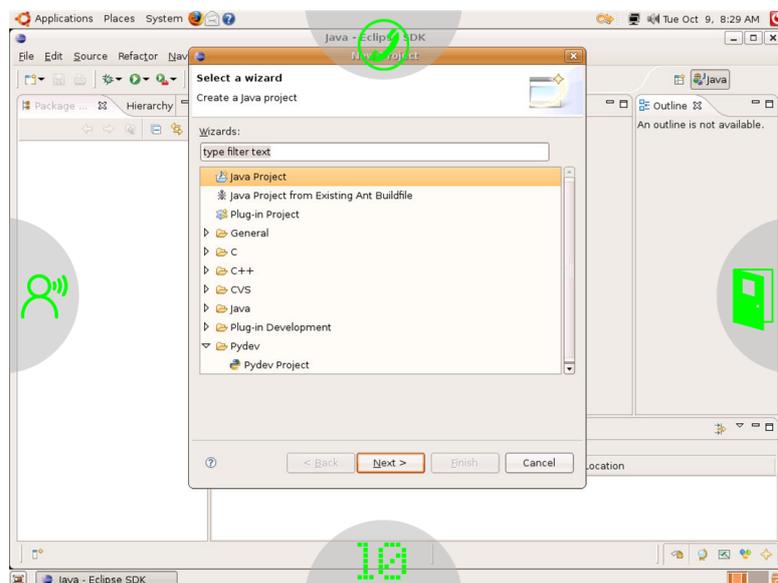


Abbildung 2.10.: Head-Up-Display zur relativen Darstellung des Ortes

Als weitere Anregung könnte das Head-Up-Display als Dienst des Betriebssystems angeboten werden und so Schnittstellen für andere Programme anbieten. So wäre z.B. das Anzeigen von Geräuschereignissen mit relativen Ortsangaben in Computerspielen möglich. Hier-

für wäre folglich keine Analyse oder Filterung der Geräusche nötig, da die Programme direkt das Ereignis parallel zur Soundausgabe auslösen könnten.

Die Umsetzung einer HUD-Lösung benötigt u. U. weniger Mikrofone und wäre deshalb einfacher zu realisieren als Systeme mit Mikrofon-Arrays.

2.2.4. Peripheral Awareness - Informationen ohne Ablenkung

Peripheral Awareness ist dann gegeben, wenn der Teilnehmer zur Aufnahme der Informationen seine Aufmerksamkeit nicht von der aktuellen Tätigkeit lenken muss (vgl. [Abschnitt 1.3](#)). Für Peripheral Awareness von Geräuschen ist es also nötig, dem Benutzer alle Informationen zu liefern, jedoch auch dafür zu sorgen, dass z. B. unwichtige Informationen nicht von wichtigeren Tätigkeiten ablenken. Die üblichen Techniken „Flashing lights“ und „Visual Inspection“ (vgl. [Tabelle 2.1](#)), die Hörgeschädigte anwenden, benötigen teils hohe Aufmerksamkeit. Ziel ist es, diese Techniken durch ein Awareness System zu optimieren. Die im [Abschnitt 2.2.3](#) vorgestellte HUD-Lösung bietet in gewissem Grade Peripheral Awareness.

Historie

Bei der Befragung von Hörgeschädigten zu den Ansätzen aus [Unterabschnitt 2.2.2](#) und [Unterabschnitt 2.2.3](#) wurde deutlich, dass diese Ansätze sehr nützlich wären, aber der Benutzer ständig auf die Ausgabegeräte schauen müsste. Bei Nichtbeachtung der Ausgaben verpasse der Benutzer die Informationen für diesen Zeitraum. In [Matthews u. a. \(2005a\)](#) wird dieses Problem durch eine Historie gelöst, auf die der Benutzer zugreifen kann, um sich über vergangene Ereignisse zu informieren. Eine solche Historie sollte dabei Lautstärke, Geräuschklasse und Zeit in geeigneter Form präsentieren (vgl. [Abbildung 2.11](#)).

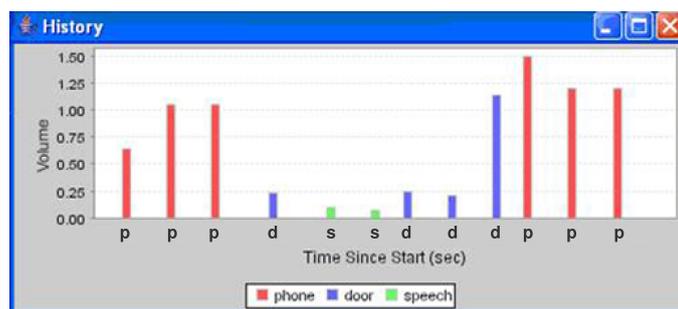


Abbildung 2.11.: Historie der Geräuschereignisse nach [Matthews u. a. \(2005a\)](#)

2.2.5. Existierende Lösungen und Hilfsmittel

Vor allem für Hörgeschädigte existieren Hilfsmittel, um Benachrichtigungen über wichtige Ereignisse zu gewährleisten. Die Lösungen konzentrieren sich dabei vorwiegend auf Situationen in denen gravierende Nachteile entstehen können:

- Türklingel
- Schreiendes Baby
- Feueralarm
- Personenruf
- Telefonanruf / Faxeingang

Gebräuchlich sind **Signalanlagen**, die in der Wohnung verteilt, häufig in Steckdosen, installiert werden (siehe [Abbildung 2.12](#)). Es handelt sich dabei um Funk- oder Trägerfrequenzanlagen (Datenübertragung über Stromnetz). In der Regel sind die Geräte ausschließlich Sender oder Empfänger, dadurch sind sogar im gleichen Raum min. zwei Geräte erforderlich. Falls Ereignisse ermittelt werden, beginnen alle Empfänger zu blitzen; ähnlich dem Blitzlicht einer Fotokamera. Moderne Geräte besitzen dabei noch LED-Anzeigen, um auf die Quelle und dadurch auch Art des Geräusches aufmerksam zu machen. Es wird jedoch keine Interpretation des Geräusches durchgeführt, die Eigenschaft des Sendegeräts (z. B. Funk-Türklingelsender) legt quasi die Art des Geräusches fest. Weiterhin ist eine Unterscheidung durch das Blitzlicht selbst nur bei einigen Geräten gegeben. Diese Geräte induzieren die Benachrichtigung je Quelle in unterschiedlichen Intervallen mit variabler Dauer. Neben einer optischen Ausgabe existieren auch portable Geräte mit Vibrationsalarm.



Abbildung 2.12.: Blitzlampe (Empfänger) der Firma „Humantechnik“⁷

⁷Bild: <http://www.humantechnik.com>

Bewertung Die dem Autor bekannten Signalanlagen bieten eine schnelle Möglichkeit in fremder Umgebung eine Sound-Awareness-Umgebung zu installieren. Visualisierung durch Blitzlicht entspricht ohne Zweifel der in [Unterabschnitt 2.1.3](#) vorgestellten Benachrichtigungsart „Notfall“, da im Normalfall sogar bei starker Sonneneinstrahlung das Blitzlicht bemerkt wird. Ein Nachteil ist jedoch, dass die Aufmerksamkeit ausschließlich auf die Anzeige gelenkt wird; die Anforderungen der *Peripheral Awareness* werden nicht erfüllt. Für Notfälle ist aber vor allem die Abhängigkeit vom Stromnetz fatal, da im Falle eines Brandes der Strom sehr häufig früh ausfällt oder abgeschaltet wird. Weitere Nachteile sind schlechte Erweiterbarkeit aufgrund geschlossener Systeme und dadurch starke Abhängigkeit vom Hersteller. Bestimmte Systeme benötigen z. B. für den Einsatz als Rauchmelder oder als Babyfon die Anschaffung dezidiert Sender. Aufgrund der Trennung von Sende- und Empfangseinheiten, ist es auch nicht möglich an den in der gesamten Wohnung verteilten Blitzlichtlampen einen Personenruf oder Alarm auszulösen. Vom Sound Awareness Standpunkt gesehen, sind die Geräte wenig geeignet, die Voraussetzungen des in den Szenarien erzielten Systems, zu erfüllen (vgl. [Abschnitt 2.1](#)). Ausschlusskriterien sind z. B. die schwache Differenzierbarkeit der Ereignisse und die Beschränkung auf ausschließlich signifikante Ereignisse.

Eine in Deutschland noch nicht sehr verbreitete Hilfestellung ist der Einsatz von **Hearing-ear Dogs** ([Moore u. Levitan, 2003](#)). Die speziell für die Unterstützung Gehörloser ausgebildeten Hunde reagieren auf Geräusche und signalisieren diese durch Berührung. Anschließend führen die Hunde die hörgeschädigte Person zu der Geräuschquelle. Der größte Vorteil eines *Hearing-ear Dogs* ist die Mobilität. Durch Einsatz des Hundes genießt der Benutzer, auch in fremder Umgebung, gewissermaßen eine „globale Sound Awareness“⁸.

2.3. Klassifizierung vs. Eigeninterpretation

Wenn an Visualisierung von Geräuschen gedacht wird, stellt man sich häufig die Darstellung eines konkreten Symbols des ermittelten Geräusches vor. Man könnte sich vorstellen, dass bei dem Geräusch eines Schusses in einem Film, das stilisierte Bild einer Pistole erscheint, vorzugsweise in einem gezackten Rahmen (intensives Geräusch).

Dem gegenüber steht das Visualisieren des Geräusches „an sich“. Hierbei ist gemeint, dass Tonhöhe, Spektrum, Lautstärke oder andere Charakteristiken eines Geräusches im Idealfall kombiniert veranschaulicht werden. Die Aufgabe der Interpretation liegt dabei beim Benutzer. Klassifizierung und Eigeninterpretation unterscheiden sich hauptsächlich durch eine gewisse „Bevormundung“ und das damit einhergehende Filtern von Information. Jede Filterung kleiner Details könnte teilweise starke Auswirkung auf die gesamte Kommunikation haben.

⁸Siehe auch: <http://www.dogsforthedeaf.org/>

2.3.1. Vor- und Nachteile der Klassifizierung

Durch Klassifizierung kann der Benutzer eine schnelle Information über konkrete Ereignisse erhalten - eine Interpretation ist nicht mehr nötig. Die Informationsdichte ist dabei von der Granularität der Ereignisklassen abhängig. Leichte Unterschiede in den Ereignissen (z.B. Türknallen oder Fensterknallen) sollten bestenfalls berücksichtigt werden.

Ein Nachteil ist vor allem die Komplexität und Fehleranfälligkeit einer Klassifizierung. In [Temko u. a. \(2006\)](#) werden im Zuge einer Evaluation von Systemen zur Klassifizierung und temporalen Lokalisierung Fehlerraten von 4,1% - 12,3% bei reiner Klassifizierung von isolierten Geräuscheignissen und 23,6% - 64,6%⁹ bei Klassifizierung und temporaler Lokalisierung von Geräuscheignissen ermittelt.

2.3.2. Komplexität

Klassifizierung von Geräuscheignissen ist mit erheblichem Aufwand, technisch sowie algorithmisch, verbunden. Ein Evaluations-Aufbau des „Acoustic Event Detection and Classification“-Systems im CHIL-Projekt bestand aus 84 Mikrofonen, angeordnet in Arrays und Clustern und als Richtmikrofone ([Temko u. a., 2006](#)). Weiterhin ist es nötig bestimmte Metriken einzusetzen, um zeitliche Überlappung der Ereignisse zu erkennen und diese getrennt einzuordnen.

Um die Geräusche zu erkennen und zu kategorisieren, werden z. B. im CHIL¹⁰-Project „Acoustic Event Classification“(AEC)-Systeme eingesetzt, die anhand von Klassifikatoren eine Zuordnung zu 25 manuell eingeführten Geräuschklassen ermöglichen. Die Klassifikatoren arbeiten u. a. mit Hidden Markov Models, Gaussian Mixture Models und Support Vector Machines ([Macho u. a., 2005](#)).

Ein alternativer Ansatz zur Sammlung, Verarbeitung und Beurteilung von Sound-Daten ist in [Doukas u. Maglogiannis \(2008\)](#) zu finden. Die Klassifikation wird durch *Support Vector Machines (SVM)* realisiert. Zuvor wird durch eine auf *Short-Time-Fourier-Transformation (STFT)* basierende Spektrogramm-Analyse durchgeführt. Die in [Abbildung 2.13](#) dargestellten Schritte werden ausschließlich durch Sensorknoten abgearbeitet, laut [Doukas u. Maglogiannis \(2008\)](#) hat das Verfahren keine hohe Komplexität.

⁹Bei nicht-isolierter Seminar-Datenbank sogar bis 100% (hier ignoriert)

¹⁰Computers in the Human Interaction Loop - <http://chil.server.de>

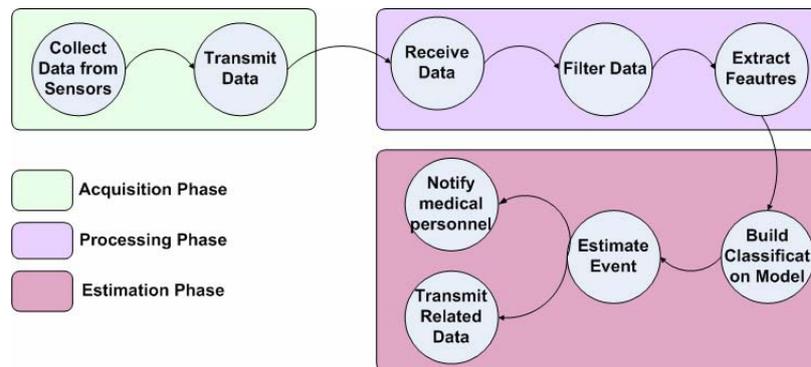


Abbildung 2.13.: Die drei Hauptphasen der Datensammlung, -verarbeitung und Beurteilung in [Doukas u. Maglogiannis \(2008\)](#)

2.4. Verwandte Arbeiten / Existierende Konzepte

In diesem Abschnitt sollen Arbeiten und Konzepte vorgestellt werden, die eine ähnliche Zielsetzung aufweisen oder zweckmäßige Methoden zur Darstellung von Geräuschereignissen bieten.

2.4.1. CHIL - Computers In the Human Interaction Loop

Das CHIL-Projekt ist ein von der EU unterstütztes Projekt, das Menschen durch Dienste unterstützen soll, die gleichwohl nicht auffällig im Hintergrund arbeiten („unobtrusive Services“ [Macho u. a., 2005](#)). Die Benutzer sollen in ihrem Verhalten nicht dazu gezwungen werden, sich dem System anzupassen. Die Dienste sollen durch auditive und visuelle Kontexterkenkung auf Bedürfnisse der Nutzer reagieren.

Ein wichtiger Teil des CHIL-Projekts ist die Identifikation von akustischen Ereignissen, aber auch die Spracherkennung und Ortung eines Sprechers. Das System zur Klassifizierung akustischer Ereignisse, „Acoustic Event Classification (AEC)“ genannt, wurde in der ersten Evaluation ([Macho u. a., 2005](#)) mit einer Datenbank gesammelter Geräuschereignisse getestet. Durch eine manuelle Zuordnung in 25 Geräuschklassen wurden 2800 Geräuschereignisse vorklassifiziert. Ziel der Evaluation war das Erkennen und Zuordnen neu entstehender Geräusche in die entsprechende Klasse. Die Geräusche wurden durch ein Array von acht Mikrofonen aufgenommen.

Das beste Ergebnis der ersten Evaluation bot eine Erkennungsgenauigkeit von ca. 50%. Die Fehlerquote variiert durch Verwendung unterschiedlicher stochastischer Methoden (*Hidden Markov Model*, *Support Vector Machine*).

Die nachfolgende Evaluation basierte auf zwölf semantischen Klassen (z.B. „Tür knallt“, „Husten“, „Lachen“) und zwei generischen Klassen („Sprache“ und „Unbekannt“). Je Klasse wurden ca. 60 Geräuschereignisse gesammelt, gegen die neue Ereignisse geprüft werden können. Der Testaufbau besteht jedoch aus 88 unterschiedlichen Sensoren, unter anderem einem Array mit 64 Mikrofonen (Temko u. a., 2006). Ein zentraler Aspekt ist die Erkennung überlappender Geräusche. Durch Metriken, wie das Trennen und Bewerten aufgeteilter Geräuschereignisse, soll die Fehlerrate gering gehalten werden (Temko u. a., 2006).

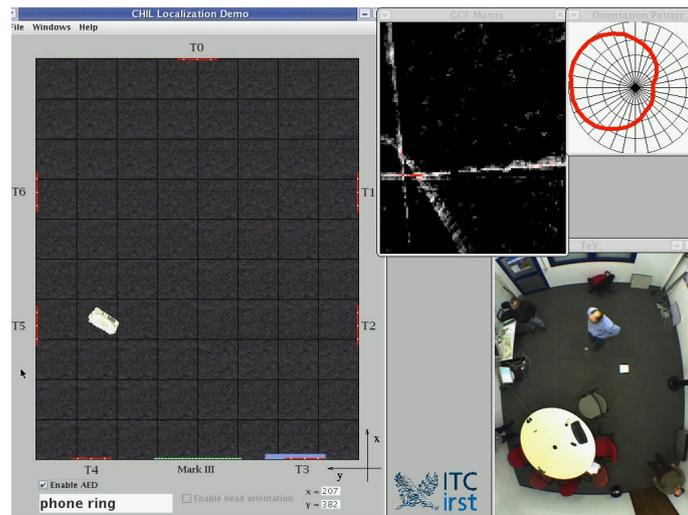


Abbildung 2.14.: Szene aus der Demonstration des „Acoustic Event Detection and Classification“-Systems (CHIL Demo, 2006)

Die Szene in [Abbildung 2.14](#) verdeutlicht, wie das System ein klingelndes Telefon klassifiziert und anhand eines Icons darstellt. Im rechten Teil des Bildes wird die Lokalisierung des Geräusches, sowie ein Bild der realen Situation veranschaulicht. Die Geräuschklassen sowie die Koordinaten sind am unteren Rand zusätzlich ablesbar.

Das CHIL-Projekt bietet sich im Grunde gut zur Unterstützung Gehörloser an, da Geräusche klassifiziert und lokalisiert werden können. In der Demonstration, die unter Laborbedingungen durchgeführt wurde, ist zu sehen, dass die Ergebnisse der Klassifikation sowie die Ortung der Geräuschquelle hilfreich erscheinen (CHIL Demo, 2006). Dem gegenüber steht jedoch der Installationsaufwand des Systems, die teils hohe Fehlerquote und die Voraussetzung der Existenz einer Ereignisdatenbank. In einer Privatwohnung müsste demnach jeder Raum zumindest mit einer großen Anzahl von Mikrofonen ausgestattet werden. Schon diese Gründe zeigen eindeutig, dass ein solches System zwar in geeigneten Räumen sinnvoll eingesetzt werden kann (z. B. Seminarräume), für private Haushalte jedoch nicht angemessen wäre.

2.4.2. IC2Hear: Designing Ambient Displays of Sound

IC2Hear ist ein Projekt der „Group for User Interface Research“ an der University of California at Berkely. Das Projekt lässt sich sehr einfach mit dem Satz „Can the deaf see what we hear?“¹¹ beschreiben - es werden Möglichkeiten zur Darstellung von Geräuschen unter Aspekten der Ambient Awareness untersucht. Ein wichtiger Punkt dabei ist die Peripheral Awareness, was bedeutet, Informationen so darzustellen, dass der Benutzer diese aufnehmen kann, ohne seine Aufmerksamkeit von der aktuellen Tätigkeit abzuwenden (Liechti, 2000). Die Wahrnehmung kann dabei bewusst oder unterbewusst ablaufen.

In [Abschnitt 2.2](#) wurden mehrere Ansätze aus diesem Projekt als Beispiele für die Darstellung von Geräuschereignissen herangezogen.

Klassifikation der Geräusche Zur Interpretation bzw. Klassifikation der Geräusche wird ein „Acoustic event classification system“ aus dem CHIL-Projekt benutzt (Mota, 2006). Die Klassifikation in IC2Hear wurde für eine Büroumgebung trainiert, d. h. relevante Geräusche, wie Klingeln eines Telefons, Gespräche oder schließende Tür werden erkannt und Hintergrundgeräusche wie das eines Ventilators werden gefiltert (Matthews u. a., 2005a).

Darstellung von Geräuschen Im IC2Hear-Projekt wurden mit hörenden und gehörlosen Probanden verschiedene Vorschläge zur Darstellung von Geräuschen entwickelt und evaluiert. Nach Untersuchungen, wie Hörende Geräusche zeichnen würden, zeigte sich, dass häufig die Schallquelle selbst als Symbol vorgeschlagen wurde (in 65% der Zeichnungen) (Ho-Ching u. a., 2002).

Die Erkenntnisse aus den Untersuchungen wurden in verschiedene Oberflächen umgesetzt. Das System arbeitet demnach mit Icons, Sonagramm, Sonagramm mit Icons sowie einer Karte ([Abbildung 2.8](#)). Neben einer Darstellung durch Symbole wird ein Sonagramm verwendet, um dem Benutzer eher ein Bewusstsein des Geräusches selbst zu geben. Ein Sonagramm ist ein Spektrogramm, das den zeitlichen Verlauf, die Frequenz und akustische Energie von Schallvorgängen darstellt (siehe [Abbildung 2.2](#)). Einem gehörlosen Benutzer bietet diese Form der Darstellung Möglichkeiten, Geräusche selbst zu erleben, zu erlernen und so möglicherweise Klangstrukturen wiederzuerkennen. Des Weiteren wird bei Sonagrammen das Geräusch nicht vorgefiltert und klassifiziert, wodurch der Hörgeschädigte nicht entmündigt wird, sondern selbst entscheidet, was von Interesse ist.

Probanden erwähnten während einer Evaluierung dieser Darstellung, dass sie eine Verbindung zwischen einem am Fenster vorbei fahrenden Lastkraftwagen und dem dargestellten Muster des Sonagramms erkennen konnten (Ho-Ching u. a., 2003).

¹¹IC2Hear: <http://guir.berkeley.edu/projects/ic2hear/>

Lokalisierung von Geräuschen Die Lokalisierung der Geräusche wurde in IC2Hear nicht umgesetzt, da dieser Vorgang komplexe Installationen von Mikrofon-Arrays benötigt. Der Schwerpunkt von IC2Hear liegt auf der Art der Darstellung von Tönen und deren Ort. Eine vollständige Ortung und prototypische Darstellung wurde im CHIL-Projekt erreicht (siehe [CHIL Demo \(2006\)](#) für eine Demonstration des „ITC-irst Acoustic Event Detection and Classification“-Systems). Zur Darstellung des Ortes wird in IC2Hear eine prototypische Kartendarstellung gewählt, die anhand welliger Linien stärker oder schwächer frequentierende Kreise darstellt (vgl. [Abbildung 2.9](#)). Der Benutzer bekommt neben der Information über den Ort des Geräusches auch Hinweise auf die Frequenz und Lautstärke. Durch Kombination dieser Informationen kann der Benutzer unter Umständen auf die Geräuschquelle schließen. Beispielsweise kann ein lauter, hochfrequenter Ton, der aus Richtung des Schreibtisches kommt, dem Telefon zugeordnet werden.

Peripheral Awareness Zur Beurteilung der Peripheral Awareness-Eigenschaften bei Nutzung der Darstellungsformen von IC2Hear, wurde den Probanden eine Aufgabe zugeteilt. Diese Aufgabe, hier Anklicken bestimmter Nummern auf einer entsprechenden Test-GUI, musste erfüllt werden, während Geräusche ausgelöst wurden. Wenn der Benutzer einen Ton auf einer der Ausgaben bemerkte, sollte dieser eine Taste betätigen. Die Ergebnisse aus den verschiedenen Testläufen können in [Ho-Ching u. a. \(2003\)](#) und [Matthews u. a. \(2006\)](#) nachgelesen werden. Für den Fall, dass Geräuschereignisse versäumt werden oder der gehörlose Benutzer nicht ständig auf die verschiedenen Ausgaben achten möchte, bzw. kann, bietet IC2Hear eine Auflistung der zuletzt registrierten Ereignisse. Diese Historie präsentiert Lautstärke, Geräuschklasse und Zeitpunkt des Ereignisses in Form eines Diagramms (vgl. [Abbildung 2.11](#)).

2.4.3. Nimio: An Ambient Awareness Device

Die Ambient Displays mit dem Namen „Nimio“ haben den Fokus auf *Collaborative Groups*, d. h. gemeinschaftlich tätige Menschen. Die Teilnehmer platzieren ein Nimio in ihrem Umfeld und können damit interagieren. Genauer kann ein Nimio unterschiedlich auf Ton, leichte Bewegung und Schütteln reagieren. Eine Reaktion wäre z. B., dass Nimios aus der gleichen Gruppe in anderen Räumen, beginnen farbig zu leuchten ([Abbildung 2.15](#)). Die Einteilung in Gruppen und die Interaktionsabläufe sind in [Brewer u. a. \(2007\)](#) zu finden.



(a) Nimio - An Ambient Awareness Device
([Brewer u. a., 2005](#))



(b) Nimio im Einsatz ([Brewer u. a., 2007](#))

Abbildung 2.15.: Ambient Display: Nimio

Nimio als Sound Awareness-Device - ein Szenario Ein gänzlich anderer Sound Awareness-Ansatz wäre, die Ambient Displays zur Darstellung von Geräuschen aus verschiedenen Räumen zu verwenden. Ohne weitere Anpassung sollte es möglich sein, mehrere Nimios im Wohnraum zu verteilen, so dass diese sich gegenseitig aktivieren, falls Geräusche registriert werden. Folgendes Szenario zeigt einen solchen Ablauf ([Abbildung 2.16](#)):

- a) ein Geräusch entsteht
- b) ein Nimio mit roter Grundfläche registriert das Geräusch
- c) alle Nimios in Reichweite werden benachrichtigt und leuchten rot
- d) an einem anderen Ort entsteht ein Geräusch
- e) das Nimio mit blauer Grundfläche registriert das Geräusch
- f) alle Nimios in Reichweite werden benachrichtigt und leuchten blau

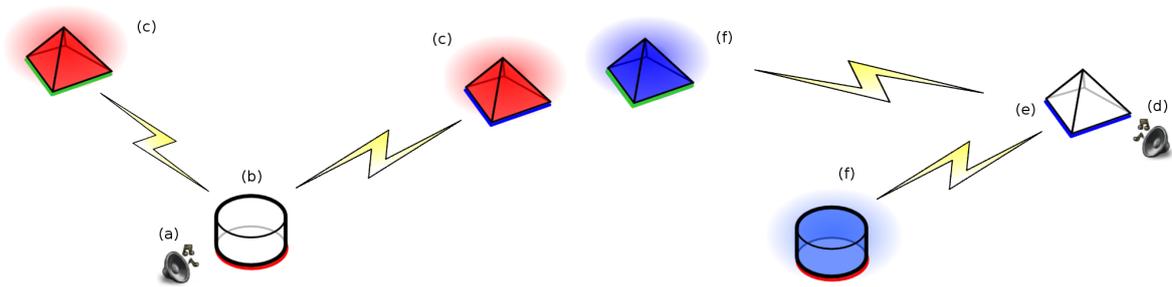


Abbildung 2.16.: Szenario mit Nimio

Diese Ambient Displays lassen sich sehr leicht aufstellen und können, sofern in Reichweite, ein einfaches „Miniatur Sound Awareness-System“ bereitstellen. Weitere Vorteile sind die dekorative Optik und potentielle Erweiterbarkeit der Nimios.

2.5. Zusammenfassung

In der Analyse sind zwei Iterationsschritte des Hauptszenarios vorgenommen worden. Die Ergebnisse aus dem zweiten Iterationsschritt führten zu einer anschaulichen Vorstellung einer Sound-Awareness-Umgebung. Neben der Abgrenzung von Geräuscharten und Benachrichtigungsklassen wurden übliche Sound-Awareness-Techniken hörgeschädigter Menschen vorgestellt. Die Ansprüche an ein Sound- und Event-Awareness-System ließen sich folglich aus diesen Methoden, den Szenarien und o.g. Abgrenzungen ableiten.

In der Untersuchung von Darstellungsformen für Geräusche liegt der Schwerpunkt der Analyse. Es lassen sich unterschiedliche Klassen von Repräsentationen der Geräuscheignisse feststellen. Die Wiedergabe der Charaktereigenschaften des Geräuscheignisses selbst stellt dabei die für diese Arbeit wesentliche Klasse dar. Für das Erreichen alternativer Modalitäten wurde die vibrotaktile Stimulation als haptische Ausgabemöglichkeit vorgestellt.

Eine konkrete Klassifizierung von Geräuschen erwies sich als weniger angebracht für ein verteiltes Sound- und Event-Awareness-System. Gründe dafür sind u. a. der Installationsaufwand, die Fehlerquote und eine Bevormundung des Benutzers. Dennoch bilden Icons in Form von Metaphern eine nützliche Grundlage zur Repräsentation klassifizierter Geräusche. Der Einsatz von Icons auf Karten stellt dabei eine der exaktesten und informationsreichsten Visualisierungen von Geräuscheignissen dar. Voraussetzung dafür ist jedoch eine annähernd fehlerfreie Klassifikation und Ortung der Geräusche.

Existierende Lösung und Hilfsmittel wurden vorgestellt, bewertet und mit den untersuchten Methoden verglichen. Im [Abschnitt 2.4](#) wurden verwandte Forschungsarbeiten und die darin

verwendeten Methoden beleuchtet. Dabei ist das Konzept der Ambient-Awareness-Devices „Nimio“ aufgrund der Berücksichtigung von Peripheral Awareness aufgefallen. Der Systementwurf in folgendem Kapitel entsteht aus der Vision, o.g. Arbeit mit den vorgestellten Darstellungsmöglichkeiten und Erweiterungen zu kombinieren.

3. Systemanalyse und Entwurf

In diesem Kapitel sollen die Ziele aus der Einleitung unter Betrachtung der Erkenntnisse aus der Analyse zum Entwurf eines Sound- und Event-Awareness-Systems führen. Hierbei sind die grundsätzlichen Ansätze zu entscheiden und die erforderlichen Anforderungen zu isolieren. Ferner ist die Auswahl der Komponenten auf fachlicher Ebene ein wesentlicher Bestandteil dieses Entwurfs. Anschließend werden weitere Möglichkeiten beleuchtet, um das System zu erweitern oder mit anderen Systemen zu verbinden.

3.1. Systemarchitektur

Die in [Abschnitt 2.5](#) erfassten Analyseergebnisse zeigen, dass ein Sound- und Event-Awareness-System mit Klassifizierung und Lokalisierung der Ereignisse zu komplex, aufwändig und kostenintensiv ist, um für einen Alltagsgebrauch geeignet zu sein. Das „Nimio“-Projekt bietet einen pragmatischen Ansatz, ein Awareness-System zu schaffen, das einfach zu nutzen und kostengünstig ist. Weiterhin ist keine weitere Installation notwendig, als die Knoten aufzustellen und einzuschalten. Das hier vorgestellte System besteht aus der Idee der „Ambient Displays“ (vgl. [Brewer u. a., 2007](#)) mit den nötigen Erweiterungen und Veränderungen, um die Voraussetzungen für erfolgreiche Sound- und Event-Awareness unter Berücksichtigung von Peripheral Awareness zu erfüllen.

[Abbildung 3.1](#) zeigt die Vision eines Ambient-Intelligence-Systems mit Nutzung von „Embedded Agents“. Die dargestellte logische Infrastruktur besteht aus kabellos verbundenen Agenten, hier mit Schwerpunkt Sensoren und Effektoren (auch Aktuatoren). Ein üblicher Prozess in diesem Aml-System beginnt mit dem Ermitteln des Kontextes mittels Sensoren (z. B. Messungen). Darauf folgt die kabellose Übermittlung der Informationen an den verantwortlichen Server (Aml-Server/Controller), der die Situation erkennt, bewertet und gegebenenfalls passende Regeln anwendet. Das Ergebnis der Verarbeitung kann in neue oder veränderte Aufgaben für die Effektoren resultieren. Die Effektoren erhalten die Anweisungen und verändern u. U. den Kontext. Weiterhin kann neben der Arbeit der Effektoren auch eine Ausgabe auf weiteren Geräten (z. B. PDA) erfolgen, oder falls nötig, ein Notruf ausgelöst werden (vgl. „Home Care System“ [Nehmer u. a., 2006](#)).

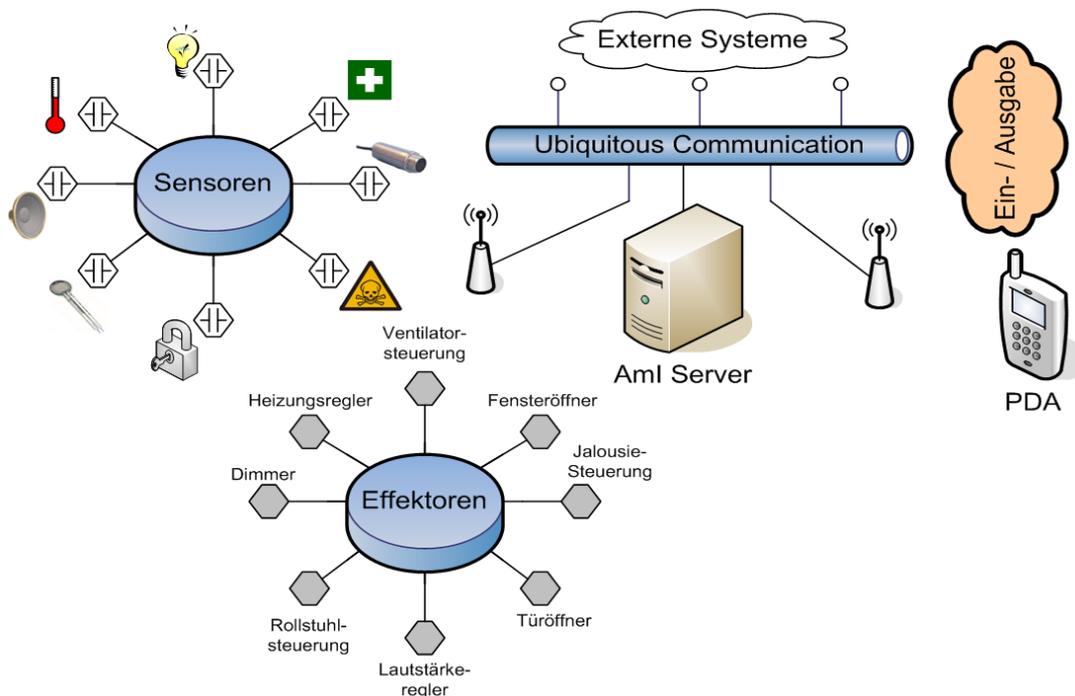


Abbildung 3.1.: Ein Ambient-Intelligence-System verwendet Sensoren und Effektoren (Aktuatoren) (vgl. [Hagras u. a., 2004](#))

3.1.1. Logische Architektur des Sound- und Event-Awareness-Systems

Bei dem angestrebten System handelt es sich um ein Sensornetz, also einem Verteilten System der Art *Distributed Pervasive Systems* ([Tanenbaum u. van Steen, 2006](#)). Eine zentrale Datenbank, wie sie in [Tanenbaum u. van Steen](#) als Teil eines Sensornetzes aufgeführt wird, existiert hier nicht. Es soll aber möglich sein, eine zentrale Instanz anzubinden, die erweiterte Aufgaben übernehmen kann. In [Abschnitt 3.4](#) werden Beispiele zur zentralen Verarbeitung der Sensordaten vorgestellt.

Folgende Komponenten benötigt das System:

- Sensorknoten mit
 - Mikroprozessor (Controller)
 - Sensoren, wie z. B. Mikrofone
 - Aktuatoren, wie z. B. Leuchtmittel
 - Funkmodul zur Kommunikation
- *Optional*: Schnittstelle zu weiteren Diensten

- *Optional: Aml-Server* respektive Awareness System über o.g. Schnittstelle

An oben stehender Auflistung ist deutlich erkennbar, dass ein System erzielt wird, das völlig ohne zentrale Instanz arbeiten kann. Die Sensorknoten sollen sich automatisch organisieren und miteinander kommunizieren. Jeder Knoten soll Geräusche ermitteln und in das System propagieren können. Benachrichtigungen sollen nach Empfang optisch ausgegeben werden, wenn möglich sogar multimodal. Die Kommunikation im gesamten System soll kabellos verlaufen.

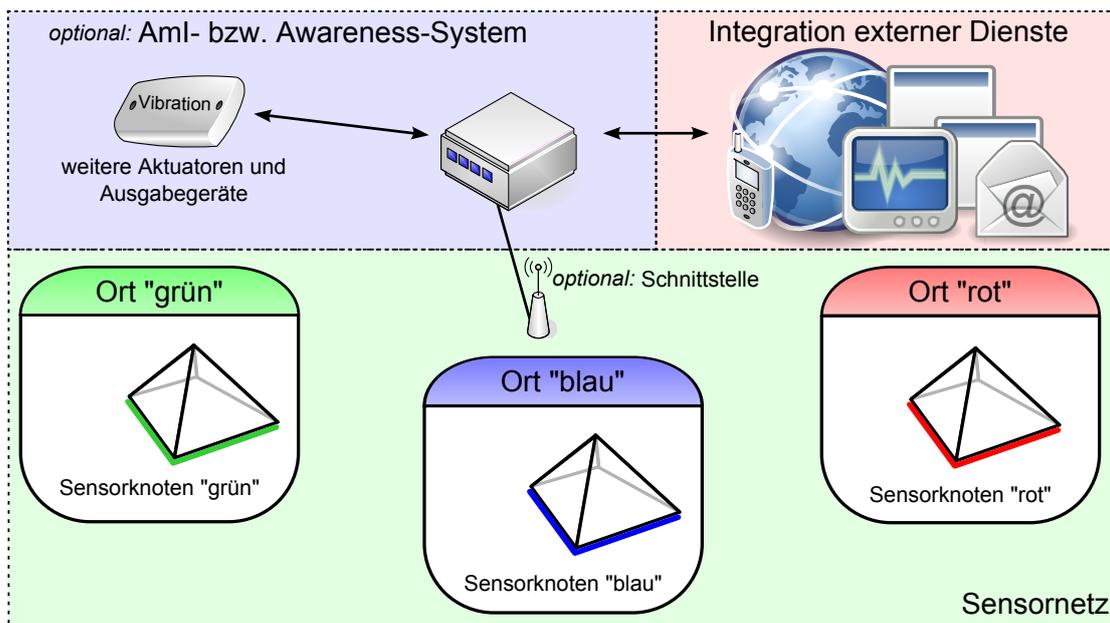


Abbildung 3.2.: Logische Architektur des angestrebten Sound- und Event-Awareness-Systems

In der logischen Architektur des Sound- und Event-Awareness-Systems sind exemplarisch drei Sensorknoten an drei verschiedenen Orten verteilt. Die jeweilige Farbcodierung entspricht einem Ort, beispielsweise Sensorknoten „rot“ für Ort „rot“, was z. B. dem Wohnzimmer entsprechen könnte. Diese Identifikation der Knoten muss bei Installation eines neuen Knotens geschehen, es wäre jedoch auch angebracht, zumindest eine Auswahl an Knoten vorab zu konfigurieren. Die Knoten bilden gemeinsam das Sensornetz und sollen unabhängig von weiteren Diensten oder Systemen arbeiten; gegebenenfalls soll die nötige Koordination im Netzwerk durch einen oder mehrere Knoten bewältigt werden. Es ist für das System entscheidend, dass der Benutzer gewissermaßen keinerlei weiteren Installationsaufwand betreiben muss, um eine Sound-Awareness-Umgebung zu erreichen.

Als optionale Komponenten sind ein Ambient Intelligence respektive Awareness System, sowie die Integration externer Dienste vorgesehen. Die in der Abbildung dargestellte optionale

Schnittstelle verhält sich im Prinzip wie ein Sensorknoten, der mit einem Rechner verbunden ist. Ein solches, einfaches Awareness System bietet Möglichkeiten, wie die Filterung von Ereignissen und die Speicherung einer Historie. Darüber hinaus ist eine Delegation von Benachrichtigungen an weitere Aktuatoren, die sich nicht ohne weiteres am Sensornetz beteiligen können, machbar. Darunter fallen z. B. die in [Abschnitt 2.2.1](#) vorgestellten Vibrations-Armbänder.

Die Integration weiterer Dienste wird durch den Rechner, der die optionale Schnittstelle zum Sensornetz anbietet, ermöglicht. Diese Trennung vom Sensornetz bietet eine Unabhängigkeit von der Struktur und Organisation der Kommunikation und erlaubt demnach eine umfangreiche Auswahl externer Dienste. Eine Auswahl zweckmäßiger Dienste mit dem damit einhergehenden Mehrwert ist in [Abschnitt 3.4](#) zu finden.

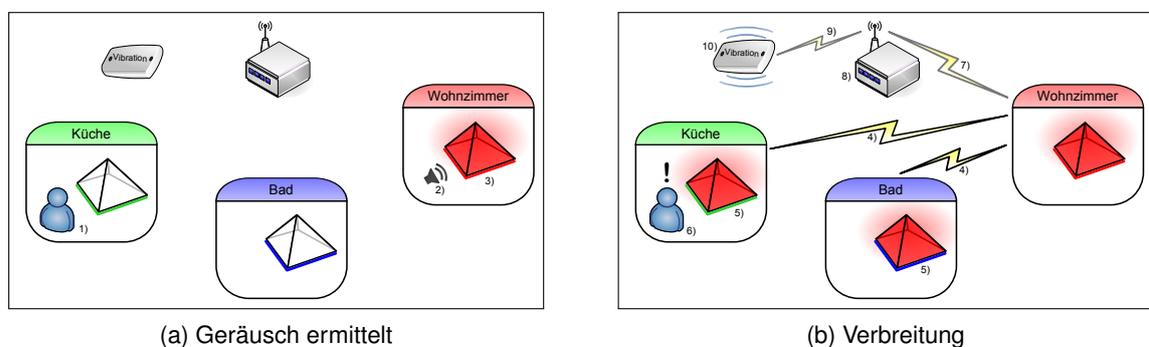


Abbildung 3.3.: Beispielszenario des Sound- und Event-Awareness-System

Beispielszenario des Systementwurfs

In [Abbildung 3.3](#) ist ein Beispielszenario in zwei Phasen dargestellt. Die Unterteilung des Szenarios folgte nur aufgrund der besseren Veranschaulichung, eine temporale Aufteilung kann nicht aus den Abbildungen entnommen werden.

In einer Wohnung sind in den Räumen *Küche*, *Bad* und *Wohnzimmer* Sensorknoten (Sound-Awareness-Motes, vgl. [Abschnitt 3.3](#)) platziert. Der Bewohner befindet sich in der Küche (1). Im Wohnzimmer findet ein Geräuschereignis statt (2), das der Sensorknoten (Identifikation „rote Farbe“) registriert. Die Aktuatoren des Knotens reagieren (3); im Normalfall erleuchtet der Knoten zumindest lokal in seiner Farbe (rot). Als nächsten Schritt propagiert der Sensorknoten die Information über das Geräuschereignis (4). Die im Sensornetz anwesenden Knoten empfangen die Nachricht über das Geräuschereignis inklusive der Quelle. Die Aktuatoren der Empfänger-knoten reagieren entsprechend der Konfiguration und erleuchten ebenfalls, jedoch in der Farbe des Senderknotens (5). Durch diese Farbcodierung kann der

Bewohner auf den Quellort des Geräuschereignisses schließen und gegebenenfalls reagieren (6).

Die optionalen Schritte 7-10 werden automatisch abgewickelt, sobald die optionale Schnittstelle des Awareness Systems im Sensornetz erreichbar ist. Diese lose Kopplung vermindert den Installations- und Konfigurationsaufwand beträchtlich. Eine so empfangene Nachricht über ein Ereignis (7) kann durch den Rechner verarbeitet werden; Bearbeitungsschritte können z. B. Filterung oder Bewertung sein. Nachfolgend können weitere Aktuatoren durch das Awareness System benachrichtigt (9) und dadurch aktiviert werden (*hier*: Vibrationsalarm, 10).

3.2. Das Sensornetz

In [Wu \(2005\)](#) werden Sensornetze als eine Sammlung kleiner, mit Sensoren ausgestatteter, Controller charakterisiert. Diese als Sensorknoten (auch: *Motes*) bezeichneten *Embedded Devices* werden in großen Mengen, gewissermaßen als Einwegprodukte, verteilt und bilden somit ein Sensornetz. Ihre Aufgabe liegt im Sammeln physikalischer Parameter aus dem direkten Umfeld ([Wu, 2005](#), Kap. 20). Üblicherweise werden Sensornetze als *Wireless Sensor Network* bezeichnet, jedoch verzichtet [Haenselmann](#) bei der Definition eines Sensornetzes darauf, sich auf Kommunikationsweg und Stromversorgung festzulegen. Es können unzählige Arten von Sensoren eingesetzt werden, um Informationen, wie z. B. Temperatur, Helligkeit oder Schall zu identifizieren. Durch die geringen Kosten der einzelnen Knoten sind Sensornetze in Größenordnungen bis zu mehreren tausend Sensorknoten denkbar. Die Idee des so genannten *Smart Dust* basiert auf dem Einsatz tausender winziger Motes, wahlweise aus der Luft verstreut abgeworfen; folglich handelt es sich um „intelligenten Sensorstaub“. (vgl. *Smart Dust* in [Warneke u. a., 2001](#); [Broad, 2005](#))

A sensor network is a set of small autonomous systems, called sensor nodes which cooperate to solve at least one common application. Their tasks include some kind of perception of physical parameters.

*Definition Sensornetz
[Haenselmann \(2006\)](#)*

3.3. Sensorknoten

Die Knoten eines Sensornetzes beinhalten im Allgemeinen ein Sensormodul, einen Mikroprozessor und eine drahtlose Netzwerkschnittstelle zur Kommunikation sowie zum Aus-

tausch der Sensordaten mit anderen Knoten innerhalb der Reichweite (Wu, 2005). Sensor-knoten werden grundsätzlich mit Batterien betrieben, weshalb in diesem Zusammenhang auch auf den Stromverbrauch geachtet werden muss.

Durch kabellose Vernetzung bilden die Sensorknoten ein Verteiltes System (vgl. Tanenbaum u. van Steen, 2006, Distributed Pervasive Systems), das die Kontexte aller Knoten zur Verfügung stellt. Die Knoten sollen sich im Idealfall konfigurationsfrei bzw. mit wenig Konfigurationsaufwand organisieren. Wenn neue Knoten hinzu kommen, müssen sie sich bei dem nächsten erreichbaren Knoten registrieren, wodurch dieser im gesamten Sensornetz erreichbar und somit Teil des Netzes wird. Wenn ein Knoten ein Ereignis registriert, muss dieser nach einer Bewertung und Interpretation (falls nötig), dieses Ereignis anzeigen und in das Sensornetz propagieren. Die Adresse eines Zielknotens ist hierbei nicht relevant, da die Information über ein Ereignis per Broadcast verbreitet wird. Diese Maßnahme erscheint vor allem aufgrund der Szenarien (vgl. Abschnitt 2.1) der Netzwerkeigenschaften eines *Wireless Personal Area Network* und der geringeren Routing-Komplexität als sinnvoll.

Durch das Registrieren für spezielle Ereignisse wäre es möglich, dass die jeweiligen Teilnehmerknoten nur gefilterte Benachrichtigungen empfangen. Die Ereignisse sollen zunächst in einfacher Form übertragen werden, wichtige Informationen sind dabei die Identifikation des Knotens und Charaktereigenschaften der Ereignisse. Bei Empfang eines Ereignisses entscheidet der jeweilige Knoten, wie die Ausgabe der Informationen durchzuführen ist. In der Regel sollte die Anzeige anhand farbiger Beleuchtung umgesetzt werden; Displays und Vibration sind als Alternative oder in Kombination geplant.

Tabelle 3.1 zeigt in Form einer *Requirements-Liste* eine übersichtliche Aufstellung der Anforderungen an die Sensorknoten. Die Anforderungen der Kategorie „must“ sind notwendig, um einen Machbarkeitsnachweis (*Proof of Concept*) im Zuge dieser Arbeit zu liefern. Die Kategorien „should“ und „nice to have“ sollen bei Möglichkeit direkt im Anschluss oder in der nächsten Iteration umgesetzt werden.

Nachfolgend werden die Sensorknoten für das Sound- und Event-Awareness-System als „Sound-Awareness-Motes“ (SAM) bezeichnet.

3.3.1. Anwendungsfälle

Aus den Anforderungen können Anwendungsfälle isoliert und gruppiert werden. Nachfolgend werden die Anwendungsfälle „Konfiguration des Knotens“, „Organisation im Sensornetz“ und „Ereigniszylus“ in Form von Tabellen detailliert dargestellt.

Anforderung	Beschreibung	Kategorie		
		must	should	nice to have
Funktionale Anforderungen				
Konfiguration des Knotens	Konfiguration des Sensorknotens durch Benutzer ermöglichen		X	
Organisation im Sensornetz	Automatische Netzwerkkonfiguration und -anmeldung	X		
Ereigniserfassung	Erfassen verschiedener Ereignisse durch die Sensoren	X		
Bewertung der Ereignisse	Ereignisse anhand von Heuristiken bewerten		X	
Ereignisse propagieren	Signifikante Ereignisse über das Netz weitergeben	X		
Ereignisse entgegennehmen	Empfangen von Benachrichtigungen aus dem Sensornetz	X		
Ereignisausgabe	Empfangene und erfasste Ereignisse ausgeben	X		
Administrative Anforderungen				
Programmierung / Rollout	Programmierbarkeit bzw. Softwareverteilung über kabelloses Netzwerk			X
Debugging / Logging	Fehlerdetails und Systeminformationen der Sensorknoten ausgeben			X

Tabelle 3.1.: Requirements-Liste (vgl. [Kahlbrandt u. a., 2007](#))

<i>Element</i>	<i>Beschreibung des Elements</i>
Use-Case Name: Akteur: Vorbedingung: Regelablauf:	Konfiguration des Knotens Benutzer Stromzufuhr vorhanden (Batterie) A Benutzer <ol style="list-style-type: none"> 1. Mittels Taster durch Einstellungsmöglichkeiten gehen 2. Einstellungsdetail auswählen (Taster 3 Sekunden gedrückt halten) 3. Nächstes Konfigurationskriterium einstellen B Knoten <ol style="list-style-type: none"> 1. Aktuelle Konfiguration ausgeben (Farbe, Helligkeit, Intervall anzeigen) 2. Auswahl bestätigen (schnelles Blinken oder Piepton) C Benutzer <ol style="list-style-type: none"> 1. Konfiguration beenden (Abwarten bis Knoten neu startet) D Knoten <ol style="list-style-type: none"> 1. Konfiguration wird gespeichert 2. Knoten startet neu (Piepton signalisiert Bereitschaft)
Alternativabläufe:	Der Benutzer beendet die Konfiguration vorzeitig (Inaktivität von > 10 Sekunden). Konfiguration wird nicht gespeichert.
Nachbedingung:	Konfiguration wurde gespeichert und der Knoten ist nach einem Neustart in Bereitschaft
Ausnahmen:	<ul style="list-style-type: none"> • Knoten mit gleicher Identität (z.B. Farbe) im Sensornetz. Fehlerbehebung durch das Zurücksetzen auf Standardwerte und anschließendem Neustart des Knotens.

<i>Element</i>	<i>Beschreibung des Elements</i>
Use-Case Name: Akteur: Vorbedingung: Regelablauf:	Organisation im Sensornetz Knoten Stromzufuhr vorhanden (Batterie), Knoten in Reichweite zu anderen Knoten (optional), Konfiguration erfolgreich A Knoten <ol style="list-style-type: none"> 1. Standardeinstellungen zur Kommunikation setzen (Kanal, Geschwindigkeit, etc...) 2. Eigene ID (bzw. Netzwerkname) aus Hardware-ID erzeugen 3. Ermitteln eines erreichbaren Knotens aus dem Sensornetz (Network discovery) 4. Sensornetz beitreten B Koordinator, bzw. erreichbarer Knoten <ol style="list-style-type: none"> 1. ID des neuen Knotens in Adresstabelle ablegen 2. Netzwerkbeitritt bestätigen C Knoten <ol style="list-style-type: none"> 1. Empfängeradresse auf Broadcast einstellen (vgl. Abschnitt 3.3) 2. Für besondere Ereignisse registrieren (optional) D Koordinator, bzw. erreichbarer Knoten <ol style="list-style-type: none"> 1. Registrierungsanforderung verarbeiten (optional) 2. Bestätigung senden (optional)
Alternativabläufe:	Falls noch kein Sensornetz vorhanden ist, bildet der Knoten sein eigenes Netz und erlaubt den Zutritt weiterer Knoten.
Nachbedingung:	Knoten im Sensornetz bekannt und bereit zum Senden und Empfangen von Ereignissen
Ausnahmen:	<ul style="list-style-type: none"> • Verbindung mit dem Sensornetz bricht ab. Fehlerbehebung durch Neustarten des Knotens und erneuter Suche nach verfügbaren Netzwerken. • Identifikation des Knotens im Netzwerk schon vorhanden. Fehlerbehebung durch Aussperrung des Knotens (Sollte unmöglich sein, da die ID aus einer eindeutigen Hardware-ID generiert wird).

<i>Element</i>	<i>Beschreibung des Elements</i>
Use-Case Name: Akteur: Vorbedingung: Regelablauf:	Ereigniszylus Knoten Stromzufuhr vorhanden (Batterie), Knoten in Reichweite zu anderen Knoten (optional), Konfiguration erfolgreich, Im Sensornetz bekannt A Knoten <ol style="list-style-type: none"> 1. Sensoren auslesen und Werte normalisieren 2. Bewerten der ermittelten Sensordaten (optional) 3. Ereignis durch das Sensornetz propagieren (Broadcast) B Koordinator, bzw. erreichbarer Knoten <ol style="list-style-type: none"> 1. Information über das Ereignis empfangen, ID des Senderknotens auswerten 2. Empfangenes Ereignis mittels Aktuatoren darstellen (ID und Ereignisart bestimmen die Form der Ausgabe) 3. Im <i>Mesh Network</i>: Broadcast weiterleiten C Knoten <ol style="list-style-type: none"> 1. Lokal ermitteltes Ereignis mittels Aktuatoren darstellen 2. Kontinuierlich Sensorwerte auslesen und den Zyklus erneut durchlaufen (sog. <i>Super Loop</i>)
Alternativabläufe:	Keine Ereignisse ermittelt oder Sensorwerte nach Bewertung irrelevant: Zyklus ständig erneut durchlaufen
Nachbedingung:	Ereignis wurde im gesamten Sensornetz bekannt gemacht und ausgegeben
Ausnahmen:	<ul style="list-style-type: none"> • Keine passende Ausgabestrategie zur empfangenen ID und Ereignisart ermittelbar: Standardausgabeform wählen um Robustheit zu wahren. • Empfangene ID entspricht der eigenen Knoten-ID: Ereignis nicht nochmals darstellen, respektive weiterleiten.

3.3.2. Sensoren und Signalgeber

Je nach Verwendungszweck können zahllose Arten von Sensoren in Sensorknoten verwendet werden. Die Definition im *Draft Standard IEEE 1451.6 (2004)* zeigt augenscheinlich, dass ein Sensor sich auf die Aufgabe der Umwandlung von physikalischen (oder auch chemischen) Eigenschaften in „nützliche“ Informationen reduzieren lässt.

An electronic device that produces electrical, optical, or digital data derived from a physical condition or event. Data produced from sensors is then electronically transformed, by another device, into information (output) that is useful in decision making done by 'intelligent' devices or individuals (people).

*IEEE P1451.6 Terms and Definitions: Sensor
IEEE 1451.6 (2004)*

In [Romer u. Mattern \(2004\)](#) werden unterschiedliche Beispielapplikationen vorgestellt, in denen die Knoten jeweils sehr unterschiedliche Sensorkonfigurationen aufweisen. Das darin vorgestellte „ZebraNet“ verwendet Sensorknoten, die neben GPS-Empfänger zur Positions- und Geschwindigkeitsbestimmung auch mit Sensoren zum Ermitteln der Körpertemperatur bestückt sind. Weitere Sensoren messen die Umgebungstemperatur oder ermitteln die Haltung des Zebras (z. B. „Kopf gesenkt“). Die in [Abschnitt 3.1](#) erarbeitete Systemarchitektur erfordert für den Prototypen, die Sensorknoten mit Mikrofonen und Tastern auszustatten. Im Folgenden werden die zur Umsetzung nötigen Sensoren sowie als Erweiterung mögliche Sensoren vorgestellt.

Mikrofon

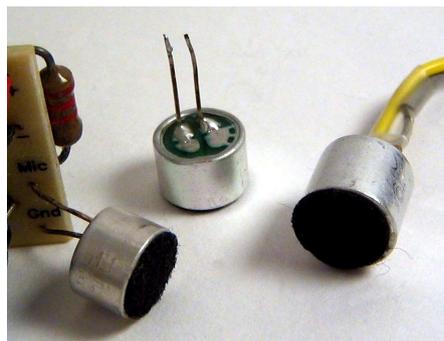


Abbildung 3.4.: Kapseln von Elektret-Kondensatormikrofonen ([Wikipedia, 2010a](#))

Mikrofone wandeln Schall in elektrische Spannung um. Üblicherweise werden Kondensatormikrofone verwendet. Bei Kondensatormikrofonen wird die Spannung durch eine schwingende Membran induziert, die zusammen mit dem Rest der Mikrofonkapsel einen Plattenkon-

densator bildet. Dank der geringen Masse und normalerweise kleinen Oberfläche der Membran zeichnen sich Kondensatormikrofone durch eine hohe Empfindlichkeit und kompakte Bauform aus, weshalb sie häufig in elektronischen Kleingeräten verwendet werden (Mobiltelefone, Headsets). Die Sound-Awareness-Motes können durch Mikrofon und A/D-Wandler den aktuellen Schalldruckpegel erkennen und auswerten.

Taster

Taster ermöglichen das Trennen oder Verbinden eines elektrischen Stromkreises. Im Gegensatz zu einem in Position verbleibenden Schalter wird die elektrische Verbindung nur kurzzeitig unterbrochen oder hergestellt. Derartige Taster werden häufig zur Steuerung von elektrischen Geräten verwendet. Die Betätigung eines Tasters stößt dabei als Signalgeber einen dedizierten Prozess an und leitet beispielsweise einen Neustart eines Gerätes ein (Reset-Taster). Der Prototyp der Sound-Awareness-Motes soll mit Tastern ausgestattet werden, um



Abbildung 3.5.: „Mini Push Button Switch“¹

dem Benutzer die Kontrolle über folgende Aktionen zu ermöglichen:

- Neustart des Knotens (Reset)
- Konfiguration des Knotens (vgl. [Anwendungsfälle](#))
- Ereignisse manuell auslösen (z. B. Personenruf, Notfall)
- Selbsttest durchführen (optional)

Zusätzlich soll ein Kippschalter zum Ein- und Ausschalten des Sound-Awareness-Motes eingesetzt werden.

¹Abbildung: <http://www.sparkfun.com>

Piezoelektrischer Sensor / Piezoresistiver Effekt

Der piezoelektrische Effekt ermöglicht u. a. das Messen von Druck, Spannung und Beschleunigung; vorzugsweise die Veränderung dieser Größen (dynamisch) (Gautschi, 2002). Für rein statische Messungen sind piezoelektrische Sensoren eher schlecht geeignet (Piezocryst). Eine Einsatzmöglichkeit in den Sound-Awareness-Motes ist es eine Erschütterung des gesamten Knotens zu erkennen, um so ein spezielles Ereignis auszulösen. Dadurch wäre eine soziale Interaktion mit Benutzern entfernter Knoten oder das Auslösen eines Alarms denkbar. Auch einfaches Berühren des Sound-Awareness-Motes könnte mit einem piezoresistiven Kraft-Sensor registriert werden und dadurch zu weiteren Aktionen führen.



(a) Piezosensor (Vibration, Aufprall)²

(b) Piezoresistiver Kraft-Sensor³

Abbildung 3.6.: Auf piezoelektrischem Effekt basierende Sensoren

Inertialsensor, Bewegungsmelder, etc...

Die Sensorknoten können mit allerlei Sensorarten ausgestattet werden, um neben Sound Awareness auch auf alternative Ereignisse im Sinne von Ambient Awareness zu reagieren. Inertialsensoren messen die Beschleunigung oder Rotationsgeschwindigkeit, Bewegungsmelder können z. B. überwachen, ob eine Person anwesend ist oder sich im Erfassungsbereich bewegt. Auch Rauchmelder, Licht- und Temperatursensoren sind als Erweiterung der Sensorknoten denkbar.

3.3.3. Aktuatoren und Displays

Aktuatoren (oder auch *Aktor*) sind quasi das Pendant zu den Sensoren; sie wandeln Eingangsgrößen (Signale) in Ausgangsgrößen (Aktionen) um. Sie verbinden die Informati-

²Measurement Specialties: <http://www.meas-spec.com>

³Tekscan FlexiForce[®]: <http://www.tekscan.com>, Abbildung: <http://www.rambal.com>

onsverarbeitung einer elektronischen Steuerung u. a. mit technischen Prozessen (Janocha u. a., 2004). In der Regelungs- und Steuerungstechnik sind Aktuatoren als „Stellglieder“ bekannt.

A mechanical device that accepts a data signal and performs an action based on that signal.

*IEEE P1451.6 Terms and Definitions: Actuator
IEEE 1451.6 (2004)*

Um ein Sound- und Event-Awareness-System durch ein Sensornetz zu realisieren, benötigen die Knoten Aktuatoren zur Darstellung der Ereignisse. Eine Repräsentation von Ereignissen kann auf verschiedenen Arten geschehen, wobei der Fokus in dieser Ausarbeitung auf die für Gehörlose optimierten Darstellungsformen liegt (siehe Abschnitt 2.2). Nachfolgend werden die für diese Voraussetzungen qualifizierten Aktuatoren aufgeführt. Denkbare Erweiterungen werden, wie auch bei den Sensoren, anschließend vorgestellt.

Optisch

Die Verwendung optischer Aktuatoren ist die essenzielle Voraussetzung zur erfolgreichen Umsetzung der prototypischen Sensorknoten. Eine Darstellung der Ereignisse durch farbiges Licht, Blitzleuchten oder mittels Text bietet einen hohen Informationsgehalt und kann die Bedingungen von Peripheral Awareness erfüllen.

Leuchtdiode (*Light-emitting diode LED*) LEDs sind Halbleiter-Elemente (Dioden), die unter Durchlassspannung Licht ausstrahlen. LEDs können neben Infrarotstrahlung auch zur Erzeugung nahezu aller Farben der „CIE-Normfarbtafel“ verwendet werden. Ein signifikanter Vorteil LEDs als Lichtquelle in Sensorknoten zu verwenden liegt in ihrer Effizienz. Die Lichtausbeute aktueller weißer LEDs kann bei ca. 100 lm/W (Lumen pro Watt) liegen (vgl. Haller). Die Betriebsspannung von Leuchtdioden ist mit 2V bis 5V deutlich geringer, als die anderer Leuchtmittel. Da die Sound-Awareness-Motes mit Batterien betrieben werden sollen, liegt daher der Einsatz von LEDs nahe. Es sind verschiedene Farben und starke Leuchtleistung nötig, um unterschiedliche Ereignisse durch Beleuchtung wiederzugeben. Damit dies erreicht werden kann, wird es nötig sein, mehrere Leuchtdioden in den Sound-Awareness-Motes zu verwenden.

Flüssigkristallbildschirm (*Liquid crystal display LCD*) Neben einer Ereignisrepräsentation durch farbiges Licht (z. B. LED) können Sound-Awareness-Motes mit einfachen LC-Displays ausgestattet werden. Durch kurze, einfache Mitteilungen sind eindeutige Informationen über den Ort oder die Lautstärke von Geräuscheignissen möglich. Auch andere



Abbildung 3.7.: Lichtkunstprojekt „LED Throwies“⁴

Ereignisse, wie z. B. Personenruf oder Türklingel, können durch einen kleinen Bildschirm präzisiert werden.

Taktil

Eine taktile Ausgabe der Ereignisse wird für Taubblinde unbedingt benötigt, unterstützt aber auch Gehörlose in Situationen, in denen z. B. keine visuelle Aufmerksamkeit möglich ist. Eine Kombination der Ausgabe (so genannte „Multimodale Ausgabe“) ist anzustreben. Durch eine möglichst kompakte Bauform sollte es ermöglicht werden, ein Sound-Awareness-Mote direkt am Körper zu tragen (z. B. Hosentasche). Es wäre auch denkbar, gesonderte Sensorknoten zu entwerfen, die ausschließlich Vibration unterstützen (gegebenenfalls mit Status-LED).

Unwuchtmotor (Vibration) Unwuchtmotoren können durch Rotation Schwingungen herstellen. Dafür sind an der Motorwelle Gewichte angebracht, die nicht rotationssymmetrisch verteilt sind und deshalb eine Unwucht bilden. Weitläufig bekannt sind solche Motoren durch Mobiltelefone mit Vibrationsalarm.

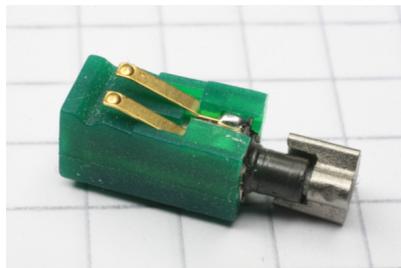


Abbildung 3.8.: Vibrationsmotor eines Mobiltelefons (Nokia)⁵

⁴LED Throwies: <http://graffitiresearchlab.com/> - <http://www.eyebam.org/>

⁵Bild: John Honniball - <http://www.flickr.com/photos/anachrocomputer/2070890619/>

Die kompakte Bauform der Vibrationsmotoren für Mobiltelefone ist eine gute Voraussetzung für den Einbau in die vielseitigen Sound-Awareness-Motes oder in gesonderte „Vibrations-Motes“, die zum Tragen am Körper konzipiert sein können (vgl. Vibrations-Bracelet in [Abschnitt 2.2.1](#)).

Lautsprecher

Die akustische Ausgabe ist aufgrund des Ziels der Sound Awareness freilich keine geeignete Form zur Kommunikation von Ereignissen, jedoch können Töne zu Zwecken von Status- und Fehlermeldung (Debugging) für Entwickler hilfreich sein. Weiterhin wird so ein weiterer Kommunikationskanal verwendet, wodurch sich die Zielgruppe nicht nur auf Gehörlose beschränkt. Ferroelektrische Lautsprecher (*auch*: Piezolautsprecher) geben tonfrequente Spannungen in Schallwellen ab und werden häufig als einfache „Hochton-Beeper“ bzw. Buzzer eingesetzt (z. B. als *PC-Speaker*). Da sie robust, klein und günstig sind, sollte ein Einbau dieser Lautsprecher in die Sound-Awareness-Motes berücksichtigt werden.



Abbildung 3.9.: Piezo Buzzer⁶

3.3.4. Funkmodul

Zur Kommunikation der Knoten untereinander sowie mit potentiellen Schnittstellen ist ein einfaches Funknetz nötig. Die für *Personal Area Networks (PAN)* üblichen Übertragungsstandards „IEEE 802.15“ beschreiben die Physikalische Schicht und die *Media Access Control*-Schicht (MAC). Die MAC-Schicht ist ein Teil der erweiterten Sicherungsschicht aus dem OSI-Schichtenmodell (vgl. ISO-OSI: [Tanenbaum u. van Steen, 2006](#)). Bekannte Vertreter kabelloser PANs sind *Bluetooth*, *ZigBee* und auch *IrDA* (Infrarot). Diese Technologien ermöglichen das kabellose Verbinden verschiedener Knoten im direkten Umfeld des Anwenders (ca. 10m), bei teils vergleichsweise geringer Datenrate ([IEEE 802.15.4, 2006](#)). Wichtige Voraussetzungen an das Funknetz des Sound- und Event-Awareness-Systems sind:

- Geringe Stromaufnahme bzw. geringer Stromverbrauch (Batteriebetrieb)

⁶PUI Audio: <http://pui-audio.com> Bild: <http://www.digikey.com/>

- Zentrale (z.B. Stern) oder auch dezentrale Netztopologie (z.B. Ad-hoc-Netz bzw. *Mesh-Network*)
- Dynamisches Verhalten: Neue Knoten können dem Netz jederzeit beitreten oder es verlassen
- Schlanke Protokolle für unkomplizierte Implementation
- Bevorzugt: Kostengünstige und kompakte Hardware
- Kein Sichtkontakt der Endgeräte untereinander nötig (wie z. B. bei Infrarot)
- Optional: Möglichkeiten zur Verschlüsselung bzw. Teilnahmeverweigerung

Der Einsatz von Bluetooth-Modulen wäre naheliegend, ist jedoch aufgrund der Kosten, Komplexität und Systemarchitektur nicht für den Einbau in die Sound-Awareness-Motes geeignet. Konkret ist schon die Begrenzung der aktiven Teilnehmer auf acht Geräte ein hinreichendes Ausschlusskriterium. Weiterhin beträgt die Wake-Up-Verzögerung bei Verwendung von Bluetooth u.U. mehrere Sekunden, was in einer ungünstigen Reaktionszeit der Sensorknoten resultieren würde. Im Vergleich dazu benötigt ZigBee ca. 15ms für den Übergang vom Sleep-Modus zum aktiven Modus (vgl. [Legg, 2004](#)).

ZigBee (IEEE 802.15.4)

ZigBee ist eine von der ZigBee Alliance[™] entwickelte Spezifikation. Die ZigBee Alliance[™] ist ein Industrie-Konsortium für Spezifikationen rund um den IEEE 802.15.4-Standard. In diesem Zusammenhang werden höhere Protokollschichten vereinbart, jedoch die unteren Schichten des Kommunikations-Stacks nicht weiter modifiziert. Dieser *IEEE 802.15.4/ZigBee*-Standard bietet einer Vielfalt von Einsatzszenarien ein einfaches Protokoll, das in der Verwendung mittels unterschiedlicher Prioritäten gegenseitig abgestimmt werden kann. Prioritäten können dabei z. B. geringer Stromverbrauch oder Nachrichten-Latenz sein. In Sensornetzen spielt ZigBee nicht zuletzt aufgrund der theoretischen Anzahl von max. 65.536 vernetzten Knoten eine erhebliche Rolle ([Wu, 2005](#); [Legg, 2004](#)). Robustheit, wenig Kosten und geringer Energieverbrauch sind für das Auslesen von Sensorknoten wichtiger als eine große Bandbreite.

Knotentypen In einem Wireless PAN nach IEEE 802.15.4 sind zwei Knotentypen vorgesehen. Die *Full Function Devices (FFD)* und *Reduced Function Devices (RFD)* unterscheiden sich im Funktionsumfang. Ein RFD besitzt gegenüber dem FFD nur einen Bruchteil der Funktionen und ist so gesehen darauf begrenzt, mit einem FFD zu kommunizieren und sich anschließend im Regelfall in den Sleep-Mode zu versetzen. Durch dieses Vorgehen ist es möglich, sparsame und kostengünstige Endgeräte zu entwickeln, die mehrheitlich nur ihre

Sensordaten übermitteln. Es wird wiederum mindestens ein *Full Function Device* als Koordinator im PAN benötigt. Ein ZigBee-Koordinator wählt z.B. den Kanal und die PAN-ID (Identifikationsnummer des Personal Area Networks) und erlaubt oder verweigert weiteren Knoten (FFD oder RFD) den Eintritt zum Netzwerk (Netzverwaltung). Weiterhin kann der Koordinator weitere FFDs bei Routingaufgaben unterstützen und Daten für schlafende Endgeräte puffern. Der ZigBee-Koordinator muss aus diesen Gründen ständig reagieren können und sollte im Regelfall über eine verlässliche Stromquelle verfügen ([XBee Manual, 2010](#)). In der ZigBee-Spezifikation ist ein weiterer Knotentyp vorgesehen, der so genannte *ZigBee Router*. Der Router ist, wie auch der Koordinator, ein *Full Function Device* und ermöglicht die Erweiterung des PANs von Stern-Topologie zu einer Baumtopologie. Router besitzen ein ähnliches Verhalten wie Koordinatoren, müssen jedoch einem ZigBee-PAN angehören, bevor sie Verwaltungsaufgaben aufnehmen können.

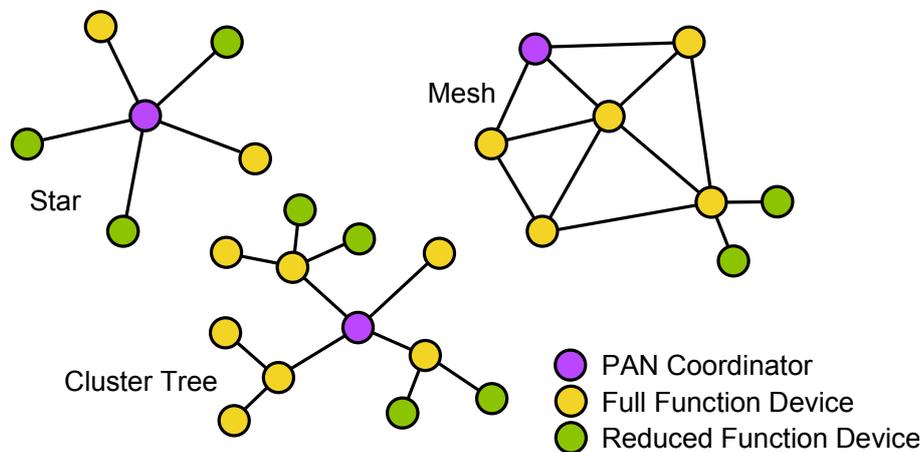


Abbildung 3.10.: IEEE 802.15.4 Netztopologien ([Legg, 2004](#))

Netztopologie IEEE 802.15.4 erlaubt die drei Netztopologien Stern (Star), Peer-to-Peer (Mesh) und Baum (Cluster-Tree). In [Abbildung 3.10](#) sind die vorgesehenen Topologien dargestellt. Die Stern-Topologie ist die einfachste Netzstruktur, bildet jedoch durch Koordinator einen *Single Point of Failure*. Angesichts der Verteilung in mehreren Räumen und die dadurch einhergehende Vergrößerung der Entfernungen ist ein Mesh-Netzwerk anzustreben. Insbesondere wegen der Ausfallsicherheit und Robustheit anhand so genannter „Selbstheilung“ ist eine Mesh-Topologie gut für Sensornetze geeignet. Nachteile jedoch sind komplexeres Routing und höheres Kommunikationsaufkommen (Nachrichtenanzahl) des gesamten Netzes, das jedoch wegen der geringen Datenmengen in einem Sensornetz nicht bedeutend ist. Für weitere Informationen zu Netztopologien in Sensornetzen siehe [Wu \(2005\)](#).

Routing, Schnittstellen und Sicherheit Die Sound-Awareness-Motes sollen selbst keine Verantwortung für die Topologie, das Routing und die Sicherheit des Netzes übernehmen. Der IEEE 802.15.4-Standard spezifiziert jedoch nur die physikalische Schicht (PHY) und die *Media Access Control*-Schicht (MAC) (vgl. [Unterabschnitt 3.3.4](#)). ZigBee ergänzt den o.g. Standard um die Schichten Netzwerk und Sicherheit (ZigBee Network Layer), sowie einer Anwendungsschicht (ZigBee Application Layer) (vgl. [Abbildung 3.11](#) und [ZigBee Alliance, 2007](#)).

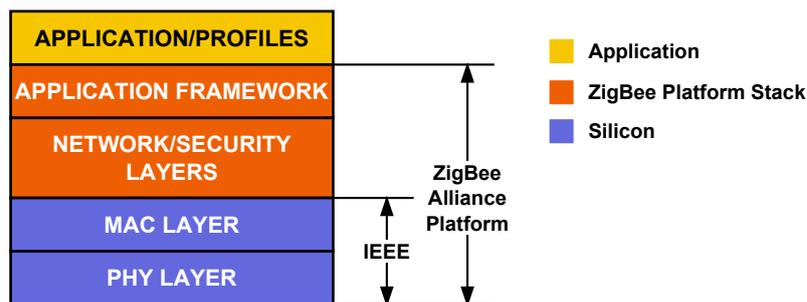


Abbildung 3.11.: Die ZigBee-Spezifikation umfasst weitere Schichten für Netzwerk, Sicherheit und Anwendungsdienste ([Legg, 2004](#))

Durch die Verwendung von ZigBee-Funkmodulen kann die Komplexität der Funkkommunikation des Sound- und Event-Awareness-System reduziert werden. Routing und Netzmanagement, aber auch die Sicherheit wird durch Funkmodule mit ZigBee-Protokollstack gewährleistet. Auf die Routingprotokolle in Sensornetzen, primär mit dem Schwerpunkt ZigBee, wird in dieser Arbeit aus den o.g. Gründen nicht eingegangen. Für Informationen über Routing in Sensornetzen siehe [Wu \(2005\)](#) und [Daintree Networks \(2008\)](#) für ZigBee-Routing.

3.4. Schnittstellen und Integration

In der logischen Architektur des Systementwurfs ([Abbildung 3.2](#)) ist eine optionale Schnittstelle zu einem abstrakten *Awareness System* dargestellt. Falls sich eine „IEEE 802.15.4/ZigBee“-Schnittstelle im Sensornetz befindet, können alle Ereignisse empfangen und weiter verarbeitet werden. Das Awareness System kann durch übliche PCs mit entsprechender Programmlogik realisiert werden. Folglich sind durch eine solche zentrale Instanz unzählige weitere Verarbeitungsschritte denkbar, als optionaler Mehrwert des Systems.

Für das prototypische Sound- und Event-Awareness-System wäre eine Weiterverteilung der Ereignisse über abweichende Kommunikationswege vorstellbar. Darunter fällt z. B. die Anbindung der Vibrations-Armbänder aus [Abschnitt 2.2.1](#), die per Bluetooth kommunizieren.

Eine weitere Idee wäre das Versenden von SMS, so dass der Benutzer durch Vibration des Mobiltelefons auf das Ereignis aufmerksam wird und der SMS die nötigen Informationen entnehmen kann. Die in [Abschnitt 2.2.4](#) vorgestellte Historie der Geräuschereignisse ließe sich auf diese Weise mühelos als Erweiterung umzusetzen.

In entgegengesetzter Richtung kann das Sound- und Event-Awareness-System als eine Benachrichtigungsplattform für alternative Ereignisse dienen. So kann sich z. B. durch im Postfach eingehende E-Mails die Farbe der Knoten verändern. Ähnliches Vorgehen könnte den Benutzer auch über alle weiteren Mitteilungen der laufenden Programme informieren (z. B. *Instant Messages*).

4. Realisierung und Evaluation

In diesem Kapitel soll aus den Ergebnissen der theoretischen Analyse ([Kapitel 2](#)) und dem abstrakten Systementwurf ([Kapitel 3](#)) ein prototypischer Aufbau eines Sound- und Event-Awareness-Systems vorgestellt werden. Entscheidungen über Hard- und Software lassen sich aus den vorher ermittelten Voraussetzungen und den jeweiligen Ansätzen folgern. Das prototypische System soll trotz möglichst geringem Aufwandes ein Maximum an Funktionalität und Einfachheit aufweisen. Im Wesentlichen führt schon die Bedingung einer preisgünstigen und schnell erreichbaren Umsetzung, ohne eigene Hardware produzieren zu lassen, zu der Entscheidung die *Arduino-Plattform* zu verwenden, um die Sound-Awareness-Mote umzusetzen.

4.1. Arduino-Plattform

Bei der Arduino-Plattform handelt es sich um eine quelloffene Software, mit der möglichst einfach die zugehörige, d. h. kompatible Hardware programmiert werden kann. Die in der Regel vorhandene Schwierigkeit des Entwerfens, Programmierens und Erweiterns von Mikrocontrollern (z.B. PICmicro) wird hierbei durch Abstraktion auf Softwaresseite (Programmiersprache, IDE) und den vorgefertigten Controllern - offizielle Arduino Boards oder kompatible Pendants - als Hardware beseitigt. Dadurch ist diese Plattform attraktiv für Anfänger, aber auch für Menschen, die sich nicht zu sehr mit der Hardware beschäftigen möchten oder nur geringe Programmierkenntnisse besitzen. Darunter fallen z.B. Künstler, Hobbyelektroniker, aber auch Studenten, die entsprechende Prototypen ohne erheblichen Zeitaufwand kreieren möchten - Stichwort: *Physical Computing*. Die Arduino Software ist eine plattformunabhängige IDE (*Integrated development environment*), mit der neben dem Editieren und Kompilieren auch die Programme („Sketches“ genannt) auf die Hardware übertragen werden können. Die Software ist ebenfalls quelloffen.

Der Referenz-Schaltplan der Arduino-Hardware wurde unter der GPL¹ veröffentlicht. Durch diese freie Lizenzierung besteht die Möglichkeit neben den offiziellen Boards auch eigenständig kompatible Controller zu entwerfen. Aktuelle Arduino-Boards bestehen im Wesentlichen aus folgenden Komponenten ([Mellis, 2009](#)):

¹GNU General Public License: <http://www.gnu.org/licenses/>

- **8-Bit Mikrocontroller:** Atmel AVR *ATmega168* (oder *ATmega328*) RISC-Prozessoren
 - 16 KB (bzw. 32 KB) Flash-Speicher
 - 512 bytes (bzw. 1 KB) EEPROM
 - 16 MHz Taktfrequenz
 - Digital I/O
 - PWM Output
 - Analog Input
- **Serielle Schnittstelle:** *FT232RL* USB UART
- **ICSP-Header** zur direkten Programmierung
- **USB-Port** zur Kommunikation und/oder Stromversorgung
- **Externer Stromanschluss** 7-12V empfohlen
- **Reset-Taster**

Bei dem oben vorgestellten Arduino-Board handelt es sich um die Version „Duemilanove“², die für den Einstieg alle relevanten Schnittstellen und Eigenschaften bietet. Für einen Prototypen kann aus diesem Grund auf diese Version zurückgegriffen werden; spätere Versionen könnten jedoch aufgrund kompakterer Bauform oder möglicher Erweiterungen auf den zahlreichen Alternativen basieren. Um die Sensorknoten möglichst klein zu halten, kämen z. B. „Arduino Fio (Funnel I/O)“-Boards in Frage. Die in [Unterabschnitt 2.4.3](#) vorgestellten „Nimios“ verwenden Berkeley Motes, die sich nicht sehr stark vom Arduino-Referenz-Design unterscheiden. Johanna Brewer, eine Entwicklerin des „Nimio“-Projekts, empfahl auf Berkeley Motes zu verzichten, um die, ihrer Erfahrung nach wesentlichen Nachteile gegenüber der Arduino-Plattform, zu vermeiden.

Die wesentlichen Vorteile die Arduino-Plattform zur Realisierung eines Sound- und Event-Awareness-Systems bestehend aus Sound-Awareness-Motes, zu verwenden, sind

- Einfache Bedienbarkeit und Programmierbarkeit der Hardware
- Kostengünstige Prototypen ohne erheblichem Zeitaufwand möglich (entgegen der Produktion eigener Leiterplatten)
- Erweiterbarkeit durch zusätzliche Hardware
 - Unterstützt durch offenes Design und den vorgesehenen Steckverbindungen
 - Vorgefertigte sog. Shields erlauben einfaches Verbinden neuer Komponenten

²Arduino Duemilanove: <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardDuemilanove>

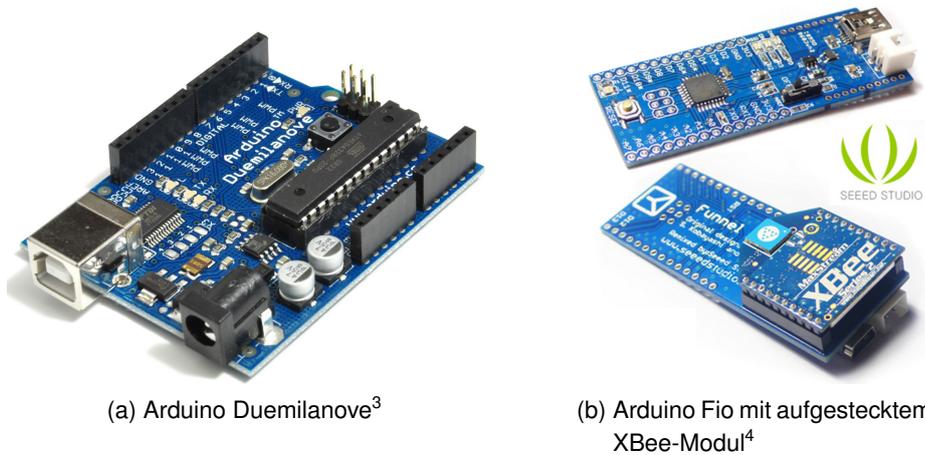
(a) Arduino Duemilanove³(b) Arduino Fio mit aufgestecktem XBee-Modul⁴

Abbildung 4.1.: Für Sound-Awareness-Motes geeignete Arduino Boards

- Umfangreiches Angebot an Bibliotheken zur Programmierung vielfältiger Hardware
- Externe Stromversorgung durch 9V-Blockbatterie
- Umfassende Dokumentation und weitreichender Support aufgrund des großen Entwicklerkreises

4.2. Sound-Awareness-Mote

4.2.1. Komponenten

Die Auswahl der geeigneten Komponenten wurde im Systementwurf ([Kapitel 3](#)) vorgestellt und soll hier konkretisiert werden. Dabei ist eine Kompatibilität mit den Arduino-Boards zu beachten. Die Komponenten sollten wenn möglich eine ähnliche Betriebsspannung besitzen und einen geringen Energieverbrauch vorweisen. Weiterhin soll grundsätzlich auf Einfachheit geachtet werden, um den Schwerpunkt nicht auf den Bereich der Elektrotechnik zu verlegen.

Nachfolgend werden konkret einzusetzende Komponenten vorgeschlagen und im Detail erläutert.

³Bild „Arduino Duemilanove“: <http://store.gravitech.us/>

⁴Bild „Arduino Fio“: <http://www.seeedstudio.com/>

ZigBee (IEEE 802.15.4)

In [Unterabschnitt 3.3.4](#) wurde verdeutlicht, welche Standards und Spezifikationen für Funkverbindungen in einem Sensornetz respektive im Sound- und Event-Awareness-System qualifiziert sind. Die Entscheidung, ZigBee einzusetzen, basiert auf ähnlichen Begründungen, wie auch in [Doukas u. Maglogiannis \(2008\)](#); namentlich: hohe Reichweite, geringer Stromverbrauch und geringe Komplexität. Die gebräuchlichen IEEE 802.15.4/ZigBee-Funkmodule für den Einsatz mit Arduino-Controllern sind die „XBee[®]“ und „XBee-PRO[®]“ RF Module von „Digi International Inc.“⁵. Die kompakte Bauform der Module bietet innerhalb der XBee-Familie Kompatibilität, so dass die unterschiedlichen Module auf einheitlichen Sockeln verwendet werden können.



Abbildung 4.2.: Verwendete XBee Module und Shields⁶

XBee Funkmodule

Die XBee Module können auf verschiedene Weise mit den Arduinos verbunden werden. In allen dem Autor bekannten Fällen wird die Serielle Schnittstelle (UART) des Arduinos verwendet, um mit dem XBee-Modul zu kommunizieren. Für beide Übertragungsrichtungen existieren Puffer, um eine Zwischenhaltung eingehender oder zu sendender Daten zu gewährleisten. Dies ist zum Beispiel nötig, falls sich ein *Reduced Function Device (RFD)* im Schlafmodus befindet (vgl. [Knotentypen](#), [Abschnitt 3.3.4](#)). Die Kommunikation zwischen Arduino und XBee Modul kann anhand den Protokollen „Transparent Operation“ oder „API Operation“ erfolgen. Bei Verwendung von „Transparent Operation“ ist das ZigBee-Modul als Ersatz der seriellen Schnittstelle zu verstehen. Alle Daten werden dabei direkt per Funk übertragen, Einstellungen müssen vor Übertragung getätigt werden. Die Betriebsart „API Operation“ basiert dagegen auf *Frames* für Daten und Kommandos ([XBee Manual, 2010](#)).

⁵Digi International Inc.: <http://www.digi.com>

⁶Bilder (v.l.n.r.): <http://www.digi.com/> <http://www.liquidware.com/> <http://www.sparkfun.com/>

Vereinfacht gesagt, ist die API-Betriebsart wesentlich mächtiger, jedoch ungleich komplexer, als die transparente Betriebsart. Letztere ermöglicht neben der Kommunikation der Knoten untereinander auch das kabellose Programmieren der Arduino-Controller.

In [Abbildung 4.2](#) ist ein so genanntes *Shield* dargestellt. Shields lassen sich direkt auf die passenden Arduino-Controller stecken und benötigen so keinerlei Löt- oder Kabelverbindungen. Die XBee-Module lassen sich wiederum direkt auf ein XBee-Shield setzen. Der ebenso abgebildete „XBee Explorer USB“ wird im prototypischen Sound- und Event-Awareness-System als Schnittstelle zu anderen Geräten verwendet. Im konkreten Fall wird so eine Schnittstelle zu einem auf Java basierenden, rudimentären Awareness System ermöglicht. Darüber hinaus können die einzelnen Sound-Awareness-Motes mit diesem „ZigBee Dongle“ kabellos programmiert werden.

```
1 void setup()
2 {
3   Serial.begin(19200);           // Serial speed: 19.200 Baud
4   delay(XBEE_GUARD_TIME);       // Guard time, approx. 1 second
5   Serial.print("+++");          // Enter command mode
6   delay(XBEE_GUARD_TIME);
7   // Setting up Broadcast DH and DL -> 0x000000000000FFFF
8   Serial.println("ATDH0000");  // Destination Address High
9   Serial.println("ATDLFFFF");  // Destination Address Low
10  Serial.println("ATNI");       // Returns Node Identifier
11  myID = readSerialAtoI();       // Read response (utility method)
12  Serial.println("ATCN");       // Exit command mode
13 }
14
15 void loop()
16 {
17   if (Serial.available()) {
18     readIn = Serial.read();
19     sendOut = readIn + 1;
20     Serial.print(sendOut, BYTE);
21   }
22 }
```

Listing 4.1: Konfiguration eines XBee Moduls im „Transparent Operation“-Modus

[Listing 4.1](#) zeigt exemplarisch die Konfiguration eines XBee-Moduls durch einen Arduino-Controller. Nachdem der Arduino an eine Stromversorgung angeschlossen wird, startet die Abarbeitung der „setup“-Routine. Mittels AT-Kommandos können die erforderlichen Werte am XBee Modul eingestellt werden. Unter anderem ist zu entnehmen, dass das Modul mit einer Geschwindigkeit von 19.200 Baud mittels Broadcast kommunizieren soll.

Weiterhin wird der Node-Identifizierer ausgelesen und der AT-Kommando-Modus verlassen. Bei der Konfiguration ist es wichtig, eine so genannte *Guard Time* von ca. einer Sekunde einzuhalten, nachdem in den Kommando-Modus gewechselt werden soll. Durch den Ablauf `Guard Time abwarten, "+++"` senden, `Guard Time abwarten` unterscheidet das Modul Kommandos von den eigentlichen Nutzdaten. Das Modul antwortet jeweils mit einem `OK\r`, was zur Steigerung der Robustheit auch abgefragt werden sollte (XBee Manual, 2010). Nach der Konfiguration wartet das Beispielprogramm auf den Empfang einer Zahl, die inkrementiert per Broadcast weitergesendet wird. Ein schlafendes Modul würde die Daten schlichtweg verzögert zugestellt bekommen.

XBee Module erlauben u.a. auch eine Adressierung mittels *Node Identifier*. Dabei kann durch Angabe der Knoten-ID die physikalische Adresse des gewählten Knotens aufgelöst werden. Beispielsweise würde das AT-Kommando `ATDNFOO` (DN: Destination Node) die physikalische Adresse des Knotens „FOO“ ermitteln und als Ziel-Adresse setzen. Der jeweilige *Node Identifier* muss in den Speicher der XBee-Module gesetzt und geschrieben werden. Weitere Informationen zur Konfiguration und Verwendung von XBee-Modulen finden sich in XBee Manual (2010).

Mikrofon und Vorverstärker

Die kostengünstigen und kompakten Elektret-Kondensatormikrofone liefern ein Mikrofonsignal von ca. $10\text{mV}/\text{Pa}$ (Millivolt pro Pascal). Ein Schalldruckpegel von 94dB SPL ⁷ entspricht 1 Pascal. Daraus ergeben sich Mikrofonsignale von ca. $0,05\text{mV}$ (sprechender Mensch) bis 20mV (Presslufthammer, vgl. Kremer (2008)). Die analogen Eingänge des „Arduino Duemilanove“ bieten eine Auflösung von 10 Bit (1024 Werte) bei Werten von 0-5V. Die Mikrofonsignale würden nach der A/D-Wandlung Werte zwischen 0 und 4 erzeugen, was eine sehr schlechte Auflösung darstellt, um möglichst genau auf die Werte zu reagieren. Zwar können die analogen Eingänge der Controller mit einer alternativen Referenzspannung betrieben werden, jedoch müsste diese sehr gering sein und direkt an einem entsprechenden Pin angelegt werden (Mellis, 2010; Sengpiel, 2010).

Um die Signale der Mikrophonkapsel zu verstärken, soll ein einfacher Mikrofonvorverstärker umgesetzt werden. Es gibt viele unterschiedliche Möglichkeiten, Mikrofonsignale zu verstärken. Nach einigen Versuchen fiel die Entscheidung auf den in [Abbildung 4.3](#) dargestellten Mikrofonvorverstärker.

Die „Electret Condenser Microphone CZ034“ der Firma Ringford Products Ltd⁸ standen vor Ort zur Verfügung. Für die Bestückung weiterer Sensorknoten wurden bereits mit Vorverstär-

⁷dB SPL: Psychoakustische Größe für binauralen Schalldruckpegel

⁸Electret Condenser Microphone: <http://ringford.manufacturer.globalsources.com>

ker versehene Mikrofone bestellt, die jedoch eine geringere Verstärkung aufweisen, als der hier veranschaulichte Vorverstärker.

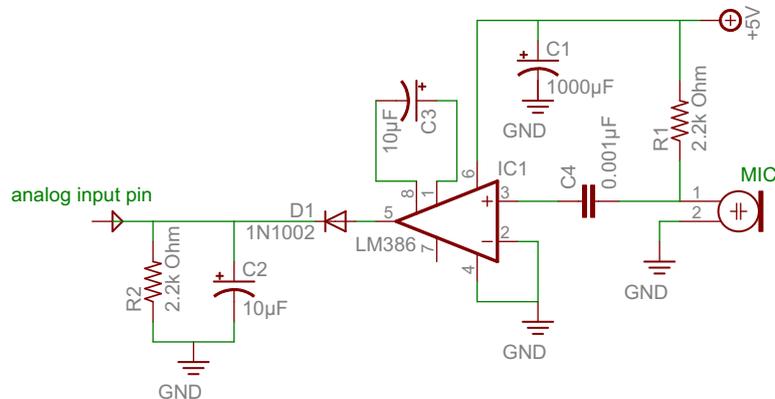


Abbildung 4.3.: Schaltplan des Mikrofon-Vorverstärkers⁹

Farbige Leuchtdioden (RGB-LEDs)

Farbige LEDs bestehen tatsächlich aus mindestens 3 einfarbigen Leuchtdioden der Grundfarben Rot, Grün und Blau. Die Farbe einer LED ist vom Halbleitermaterial abhängig, was zu unterschiedlich Effizienz führt. Blaue Leuchtdioden haben eine deutlich geringere Lichtausbeute als rote Leuchtdioden. Neben Unterschieden in der Betriebsspannung kann das auch Auswirkungen auf die Bauform haben. Um eine gute Farbmischung zu erreichen existieren RGBB-Leuchtdioden, die schlicht mit einer weiteren blauen LED bestückt sind (Haller).

LEDs sind Dioden und besitzen aus diesem Grund eine Kathode (-) und eine Anode (+). Um LEDs mit einem Arduino anzusteuern ist neben einem Vorwiderstand das korrekte Verbinden eben dieser Komponenten nötig. Wie in [Abbildung 4.4](#) zu erkennen, muss vor jeder Anode ein entsprechender Widerstand geschaltet werden, um die vorherrschende Spannung (hier +5V) an die Betriebsspannung der LED anzupassen. Die Kathode wird häufig gemeinsam auf GND gelegt, wobei es auch hier Unterschiede gibt.

Wenn man nun von einer kombinierten RGB-LED mit mindestens vier Anschlüssen (drei Anoden, eine Kathode) ausgeht, benötigt man für jede weitere RGB-LED mindestens drei zusätzliche Anschlüsse. Angenommen das Ziel wäre ein mit vier RGB-LEDs bestücktes Sound-Awareness-Mote, wären dreizehn freie Anschlüsse - also 12x +5V und 1x GND - nötig. Das „Arduino Duemilanove“-Board bietet insgesamt 14 digitale Ausgänge. Aus dieser

⁹Von Diana Fernandez: <http://www.wiring.org.co/learning/basics/microphone.html>

Tatsache wird ersichtlich, dass andere Möglichkeiten benötigt werden, um mehrere RGB-LEDs anzusteuern.

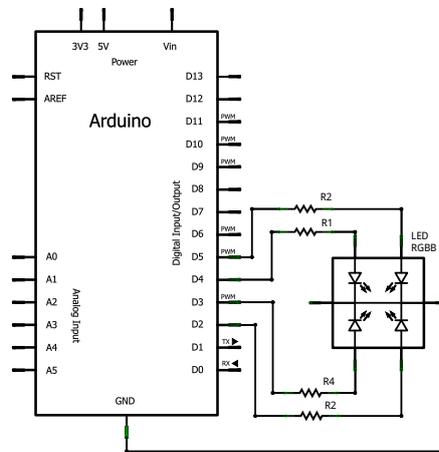


Abbildung 4.4.: Beispielschaltung für eine RGB-LED

Um zahlreiche LEDs anzusteuern, ohne den Controller mit Anschlüssen für die Anoden zu füllen, existieren u. a. folgende Möglichkeiten:

- Multiplexbetrieb mit Schieberegistern

Multiplexing erlaubt gezieltes Ansteuern von 2^n Ausgängen mit n Steuerleitungen. Durch Einsatz von Schieberegistern kann mit serieller Ausgabe die LED-Matrix parallel angesteuert werden (vgl. LED-Matrix¹⁰)

- Integrated Circuit - Integrierter Schaltkreis ICs mit I²C-Funktionalität

I²C (Inter-Integrated Circuit) ist ein serieller Datenbus von NXP Semiconductors, vgl. <http://ics.nxp.com/interface/#I2C>

- Spezielle LED-ICs mit o. g. Techniken zur Vereinfachung der Schaltung

Nachteile sind dabei der Preis und eine evtl. größere Bauform der LED-ICs. Vorteilhaft ist sicherlich eine vereinfachte Nutzung zu prototypischen Zwecken

Diese Arbeit soll nur auf elektrotechnische Details und Erklärungen eingehen, die zwingend benötigt werden, um einen Prototypen des erstrebten Sound- und Event-Awareness-Systems zu realisieren. Um die Umsetzung so einfach wie möglich zu halten, fiel die Entscheidung auf RGB-LED-ICs, die in Kombination mit Arduinos einfach zu nutzen sind.

Abbildung 4.5.: ShiftBrite LED-Modul¹¹

ShiftBrite RGB-LED-Module

„ShiftBrites“ sind von Garrett Mace¹¹ entwickelte LED-Module, die mit jeweils einer hellen RGB-LED bestückt sind, welche sich unkompliziert ansteuern lassen. Durch getaktete, serielle Anschlüsse können die auf dem Modul befindlichen Schieberegister gefüllt werden. Eine Matrix von ShiftBrite-Modulen besteht demnach aus einer Serie von (gelatchten) Schieberegistern, die in Reihe geschaltet werden. Eine LED kann also gesteuert werden, indem die Daten zu dem Modul „durchgeschoben“ werden. Die Helligkeit jeder Farbe kann durch einen 10 Bit Wert (1024 Abstufungen) eingestellt werden. Theoretisch lassen sich dadurch fast alle Farben verwenden. Die Steuerung der LED selbst wird durch einen LED-Driver-IC (Allegro A6281¹² übernommen.

Eine unabhängig entwickelte Programmbibliothek vereinfacht die Nutzung der ShiftBrite Module in Verwendung mit Arduino-Controllern¹³. Ein kurzes Beispielprogramm, um zwei in Reihe geschaltete ShiftBrite-Module in verschiedenen Farben aufleuchten zu lassen, ist in [Listing 4.2](#) zu sehen.

Lautsprecher, Piezo-Buzzer

Während der Entwicklung und der ersten Tests mit Arduinos, besonders bei kabelloser Kommunikation, ist schnell das Manko aufgefallen, dass Debugging und Fehlersuche schwer bis kaum möglich ist. Um die wichtigsten Informationen auszugeben, ohne auf Status-LEDs zu achten, ist der Einbau von Lautsprechern in die Sound-Awareness-Motes angebracht. Die Maßnahme hat außerdem den Vorteil, dass während Tests ein entfernter Knoten bemerkt werden kann, der z. B. wegen eines Fehlers neu startet.

Als Lautsprecher konnten einfache PC-Speaker verwendet werden. Durch ein Rechtecksignal können mittels entsprechender Frequenz verschiedene Töne erzeugt werden. Die

¹⁰LED-Matrix: <http://www.mikrocontroller.net/articles/LED-Matrix>

¹¹Garrett Mace, macetech.com: <http://www.macetech.com>

¹²Allegro A6281: http://www.allegromicro.com/en/Products/Part_Numbers/6281/

¹³ShiftBrite Library: <http://www.arduino.cc/playground/Main/ShiftBriteLib>

```
1 #include "ShiftBrite.h"
2
3 ShiftBrite SB(10); //A ShiftBrite starting on pin 10, assumes the
   next pins are sequentially going up
4
5 void setup() {
6     pinMode(9,OUTPUT);
7     digitalWrite(9,HIGH);
8     SB.setPower(127);
9 }
10
11 void loop() {
12 // This example has two ShiftBrites chained together in series
   and cycles some colours through them. Since the data gets
   pushed through the SBs, the last one is set first
13 // SB.setColor(R,G,B);
14     SB.setColor(1023,0,0); // SB #2 (red)
15     SB.setColor(0,1023,0); // SB #1 (green)
16     delay(500);
17     SB.setColor(0,1023,0); // SB #2 (green)
18     SB.setColor(0,0,1023); // SB #1 (blue)
19     delay(500);
20     ...
21 }
```

Listing 4.2: Auszug aus einem Beispiel zur Nutzung der ShiftBrite-Bibliothek

Umsetzung eines solchen Rechteckgenerators (Oszillator) kann hierbei softwareseitig gesehen. Ein Beispiel für die Erzeugung von Tönen mittels Arduinos zeigt das [Listing 4.3](#).

```
1 // Namen der Töne: char names[] = { 'c', 'd', 'e', ... };
2 // Halbe Periodendauer in Mikrosekunden (Frequenz = 1 / Periode):
3 // int tones[] = { 1915, 1700, 1519, ... };
4 void playTone(int tone, int duration) {
5     // Erzeugung einer symmetrischen Rechteckspannung
6     for (long i = 0; i < duration * 1000L; i += tone * 2) {
7         digitalWrite(speakerPin, HIGH); // High-Pegel = 5V
8         delayMicroseconds(tone);       // Halbe Periodendauer
9         digitalWrite(speakerPin, LOW);  // Low-Pegel = 0V
10        delayMicroseconds(tone);
11    }
12 }
```

Listing 4.3: Erzeugung von Tönen durch Rechtecksignal

Als geeignete Alternative zu den Lautsprechern werden Piezo-Buzzer in den Sound-Awareness-Motes eingesetzt. Diese sind wesentlich kleiner und die Ausgabe bei +5V ist erheblich leiser, genügt jedoch für einfache Statusinformationen.

Unwuchtmotor (Vibration)

Für den Prototypen des Sound- und Event-Awareness-Systems können einfache Unwuchtmotoren verwendet werden. Geeignet sind dafür z.B. entsprechende Teile aus Mobiltelefonen. Indem Spannung an den Motor angelegt wird (ca. 3-5V), beginnt dieser zu rotieren und erzeugt dadurch Vibrationen. Für einen produktiven Einsatz wäre es nötig, diesen Motor sicher anzubringen, so dass durch die Vibration keine Wackelkontakte oder andere Verschleißerscheinungen entstehen. Weiterhin ist die Verwendung von Unwuchtmotoren eher in kompakten Sound-Awareness-Motes angemessen. Diese könnten nahe am Körper getragen werden (z. B. Hosentasche) und würden ein vergleichsweise zuverlässiges Registrieren von Vibrationen ermöglichen.

4.2.2. Schaltplan Sound-Awareness-Mote

Nachdem alle nötigen Komponenten vorgestellt wurden, soll in diesem Abschnitt der gesamte Aufbau des Sound-Awareness-Motes beschrieben werden. Zur Veranschaulichung werden Schaltplan und Steckplatine als Darstellungsform verwendet. Durch Verwendung von

Steckplatinen (*Breadboard*), ICs mit DIL-Gehäuse (*Dual in-line package*) und Verbindungsleitungen (*Jump Wires*) können die prototypischen Sensorknoten ohne Lötverbindungen realisiert werden.

Um den Schaltplan übersichtlich zu gestalten, wurde der Vorverstärker in Form eines eigenständigen integrierten Schaltkreises (IC) vereinfacht. Weiterhin wurde auf die Darstellung des XBee-Shields (vgl. [Abschnitt 4.2.1](#)) verzichtet. Das XBee-Modul ist hier direkt mit den RX/TX-Pins des Arduinos verbunden.

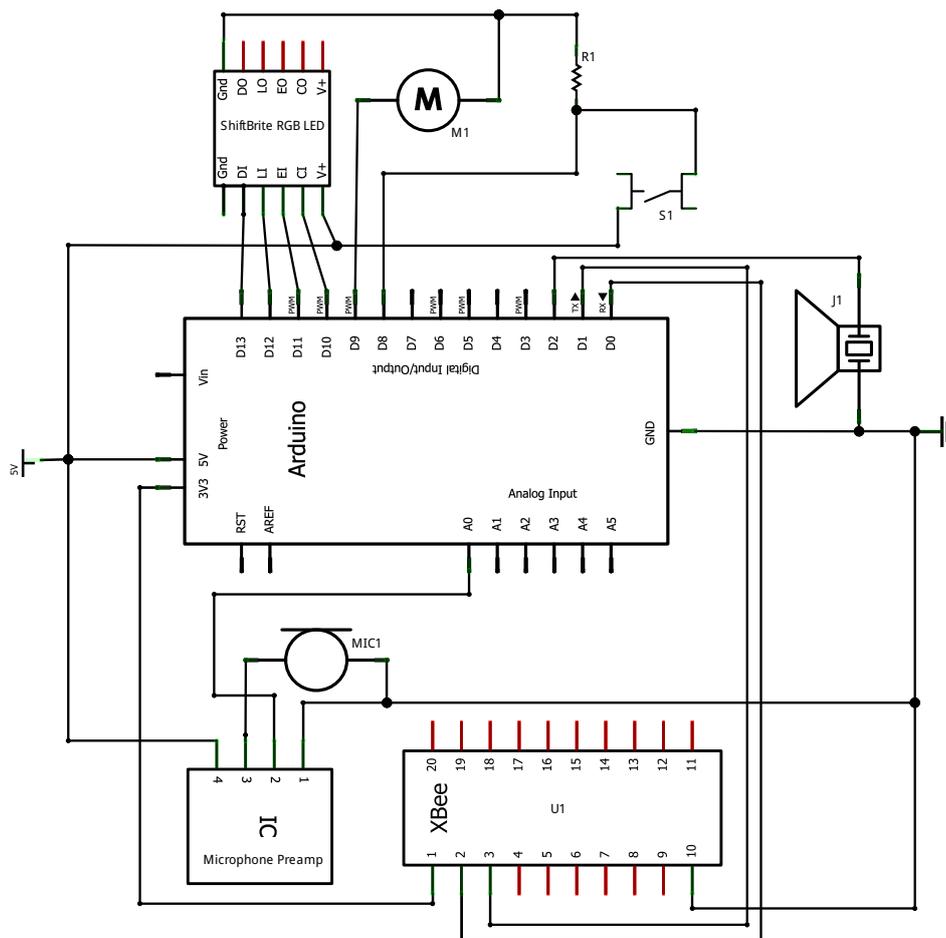


Abbildung 4.6.: Schaltplan der Sound-Awareness-Motes

Anmerkungen Das Mikrofon *MIC1* ist mit dem Mikrofonvorverstärker verknüpft, der wiederum mit dem analogen Eingang am Arduino-Controller (*A0*) verbunden ist. Die Mikrofon-signale werden vom A/D-Wandler des Arduinos in Werte von 0-1023 umgewandelt.

Das XBee-Modul ist, wie oben erwähnt, mit den RX/TX-Anschlüssen (*D0*, *D1*) verbunden und verhält sich transparent wie die übliche serielle Schnittstelle. Die Kommunikation erfolgt ausschließlich über die XBee-Module; Programmierung der Arduino-Controller eingeschlossen.

Die Anschlüsse der „ShiftBrite“ LED-Module (Data, Latch, Enable, Clock) sind direkt mit den digitalen Ausgängen *D10* bis *D13* verbunden. Die Ansteuerung der Module soll hier nicht weiter verdeutlicht werden. Erläuterungen und Verweise auf Beispiele finden sich in [Abschnitt 4.2.1](#). Weitere LED-Module können in Reihe hinter das dargestellte Modul geschaltet werden, wodurch keine weiteren Pins am Arduino-Controller belegt werden.

Der Schalter *S1* stellt die Möglichkeit zum Betätigen eines Personenrufs dar, kann aber auch zur Konfiguration der Knoten verwendet werden. Der digitale Anschluss *D8* ist mit einem *Pull-Down Widerstand*, *R1* an *GND* verbunden und wird bei Betätigung des Schalters auf ein höheres Potential gebracht (Open Circuit); der Eingang steht dann auf *HIGH*.

Der Unwuchtmotor für einen Vibrationsalarm ist als Motor *M1* zu erkennen. Der digitale Anschluss *D9* wird als Ausgang konfiguriert und kann auf *HIGH* geschaltet werden, um ca. +5V als Betriebsspannung an den Motor anzulegen.

Für eine akustische Ausgabemöglichkeit (z. B. für Statusausgaben) ist der Lautsprecher bzw. Piezo-Buzzer *J1* vorgesehen. Durch den digitalen Ausgang *D2* werden mittels Rechtecksignalen in verschiedenen Frequenzen Töne erzeugt.

4.2.3. Steckplatine/Breadboard

Zur einfachen Herstellung eines Sound-Awareness-Mote-Prototyps konnte auf so genannte Breadboards bzw. Steckplatinen zurückgegriffen werden. Aufgrund der Verbindungen durch gesteckte Drähte (sog. *Jump Wire*) ist es im Prinzip nicht nötig, mit Lötverbindungen oder speziellen Leiterplatten zu arbeiten. Die Bauform der Sensorknoten ist deshalb jedoch nicht sehr kompakt. Spätere Versionen der Sound-Awareness-Motes können allerdings stark verkleinert werden. Die [Abbildung 4.7](#) zeigt einen kompletten Sound-Awareness-Mote mit einem als IC vereinfachtem Mikrofon-Vorverstärker und direkt verbundenem XBee-Modul. Im Anhang finden sich Darstellungen des Vorverstärkers und Fotos eines Sound-Awareness-Motes.

4.2.4. Messungen

Die Mikrofone sind nach Verstärkung direkt mit dem Arduino-Controller verbunden. Der analoge Eingang des Arduinos ermöglicht eine 10 Bit Auflösung durch Analog/Digital-Wandlung.

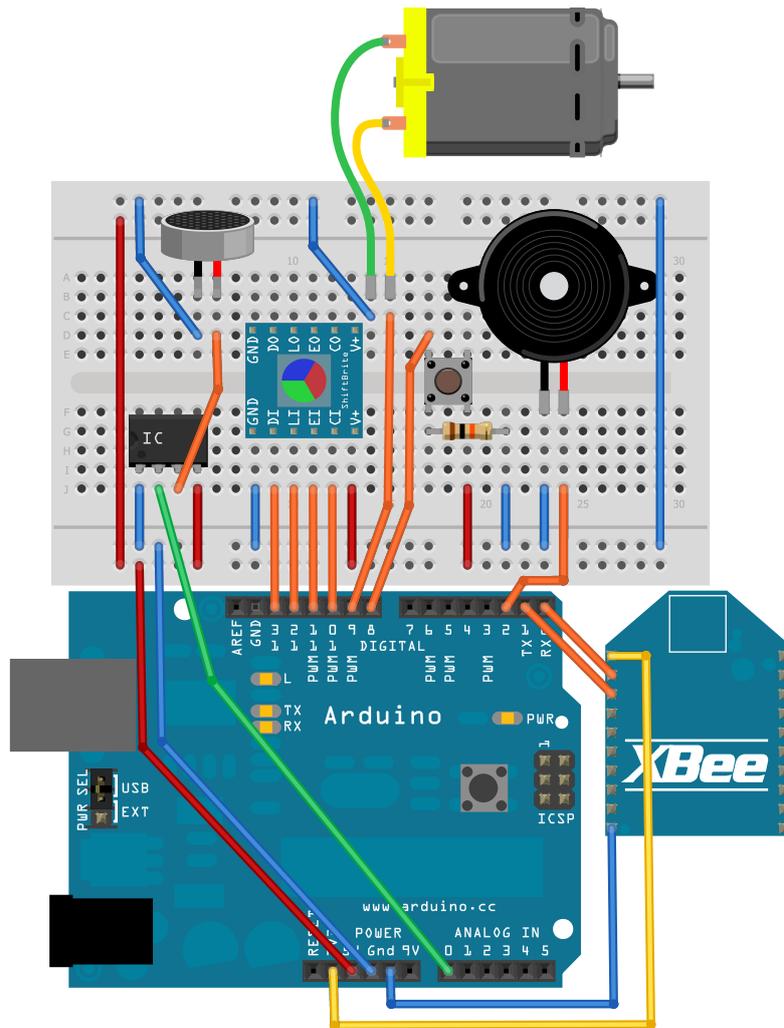


Abbildung 4.7.: Steckplatine eines Sound-Awareness-Motes

Entsprechend der anliegenden Signale werden dadurch 1024 Werte (0-1023) abgebildet, wobei der Maximalwert +5V-Messspannung entspricht. Um sich einer Größenordnung der eingehenden Mikrofonsignale anzunähern, wurden die Werte direkt abgefragt und über die serielle Schnittstelle ausgelesen. Mithilfe der „Processing“¹⁴-Plattform, aus der auch die Arduino-IDE entstand, ließen sich die Werte direkt von der seriellen Schnittstelle empfangen und als Graph darstellen. Die Auslese-Geschwindigkeit wird durch Anpassung der Baud-Rate variiert. Die Messungen wurden mit 9.600 und 38.400 Baud durchgeführt. In [Abbildung 4.8](#) ist der Graph einer Beschallung des Mikrofons mit Sinus-, Rechteck- und Sägezahn-schwingung zu sehen.



Abbildung 4.8.: Mikrofon-signale bei Beschallung mit Sinus-, Rechteck- und Sägezahn-schwingung

Es ist gut zu erkennen, dass die Werte nicht im gesamten Wertebereich verteilt sind. Daraus resultiert eine geringere Auflösung der Mikrofon-signale. Durch Einsatz eines alternativen oder angepassten Mikrofon-Vorverstärkers wäre es möglich, den gesamten Wertebereich in Anspruch zu nehmen.

Um auf Geräusche reagieren zu können, messen die Prototypen der Sound-Awareness-Motes kontinuierlich das absolute Mikrofon-signal und prüfen dieses gegen einen Schwellenwert. Dieser Schwellenwert (*Threshold*) ist der Einfachheit halber durch o.g. Messungen ermittelt worden und vorerst als fester Wert in die Programmlogik eingeflossen. Als nächster Schritt soll es möglich sein, den Wert während der Laufzeit zu beeinflussen und auf lange Sicht diesen Wert automatisch zu ermitteln.

4.2.5. Programmlogik

Hier soll nur auszugsweise auf die wichtigsten Abläufe im Sound-Awareness-Mote eingegangen werden. Das gesamte Listing der prototypischen Knoten ist im Anhang zu finden.

¹⁴Processing: <http://processing.org/>

Die Grundstruktur der üblichen „Arduino-Sketches“ besteht aus Variablendeklaration, Initialisierung und den Routinen „setup“ und „loop“.

Aufgaben im „setup“

Die wichtigsten Vorbereitungen der Sound-Awareness-Motes in der Setup-Routine sind:

- Vorbereiten der Digitalen Pins (Eingang, Ausgang)
- Geschwindigkeit der seriellen Schnittstelle festlegen
- Einstellen der XBee-Module (Broadcast, ID auslesen)
- Ausgelesene XBee-ID als Knoten-Identifizierer festlegen
- XBee-Werte prüfen (Robustheit: z. B. ID nur einmalig im Netz)
- Konfiguration der Aktuatoren (z. B. LED-Helligkeit, Vibrationsdauer)
- Debug-Ausgaben (ID per Piezo-Buzzer ausgeben)

Logik im „loop“

Die Loop-Routine läuft nach der Setup-Routine endlos ab und wird gelegentlich auch „Super-Loop“ genannt. Alle wichtigen Arbeitsschritte laufen in dieser Routine seriell ab. Die Verwendung von Verzögerungen (*delay*) sollte wenn möglich vermieden werden, da während einer Wartezeit z. B. keine analogen Werte ermittelt werden können. Durch Interrupts kann man auf dieses Problem reagieren. Die prototypischen Knoten ermöglichen jedoch keine Nebenläufigkeit. Nachfolgend ist exemplarisch die Hauptaufgabe des Sound-Awareness-Motes in einem Ablaufdiagramm dargestellt ([Abbildung 4.9](#)). Zur Vereinfachung wurde sich in der Visualisierung auf das Auslesen des Mikrofons und das Senden bzw. Empfangen der Ereignisse beschränkt.

4.3. Integration

Die Integration weiterer externer Dienste ist nur von nachrangiger Wichtigkeit für die Realisierungsphase. Exemplarisch wurde ein Java-Programm umgesetzt, das durch serielle Kommunikation mit dem Sensornetz kommuniziert. Eingehende Nachrichten können so weiterverarbeitet werden und zusätzliche Aktionen anstoßen.

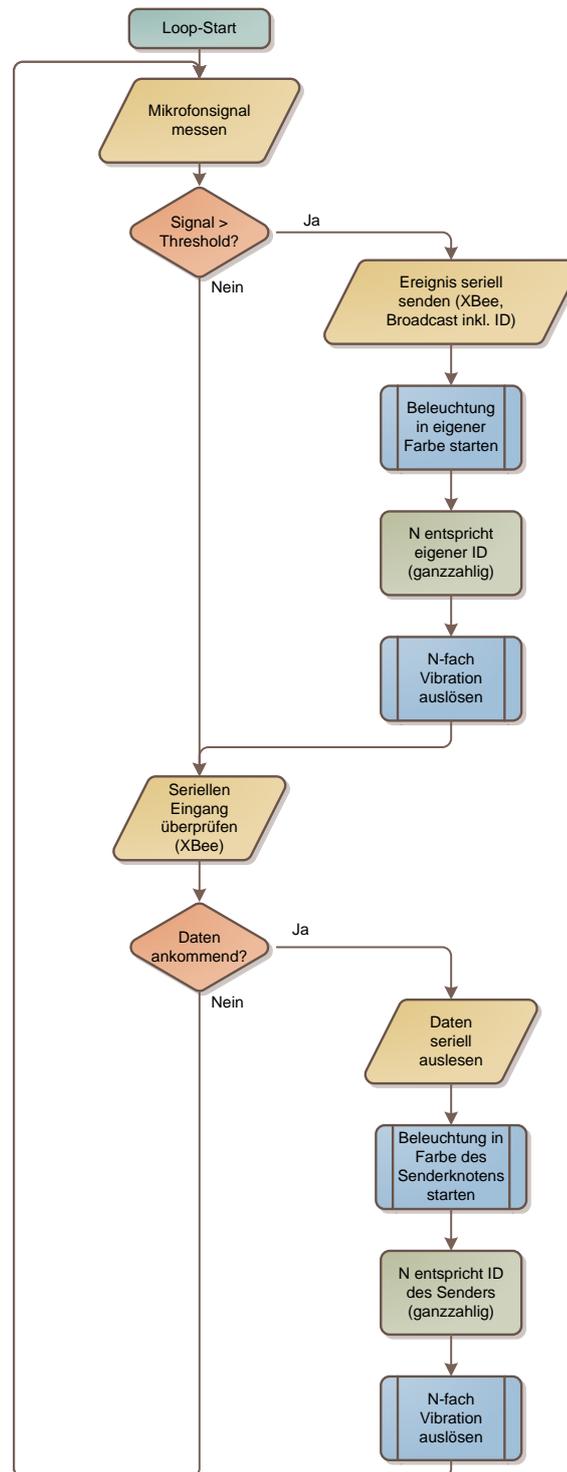


Abbildung 4.9.: Ablaufdiagramm der Loop-Routine des Sound-Awareness-Motes (stark vereinfacht)

Der aktuelle Prototyp erlaubt das Einbinden verschiedener Benachrichtigungs- und Logging-Dienste. Neben den im Verlaufe der Realisierung implementierten *Notification Services* konnten auch Schnittstellen zu bereits verfügbaren Benachrichtigungs-Systemen eingebunden werden.

Benachrichtigungssystem „Growl“ Durch Benachrichtigungssysteme, wie „Growl“¹⁵ oder „Snarl“, kann die Darstellung und Verteilung global einheitlicher Benachrichtigungen erreicht werden. Programme, die sich bei Growl registrieren, können einfache Meldungen absenden, ohne die Aufbereitung und das Ziel der Meldung zu berücksichtigen. Neben der einheitlichen Darstellung, die zentral durch Themes beeinflusst werden kann, liegen die Stärken dieser Anwendungen bei Kontrolle, Verteilung und Historie von Nachrichten. So können unter anderem Filter, Prioritäten, Sounds und Erscheinungsform gewählt werden. Interessant für die Anbindung an das Sound- und Event-Awareness-System sind die Verfügbarkeit einer Historie und die Fähigkeit, Nachrichten im Netzwerk zu verteilen.

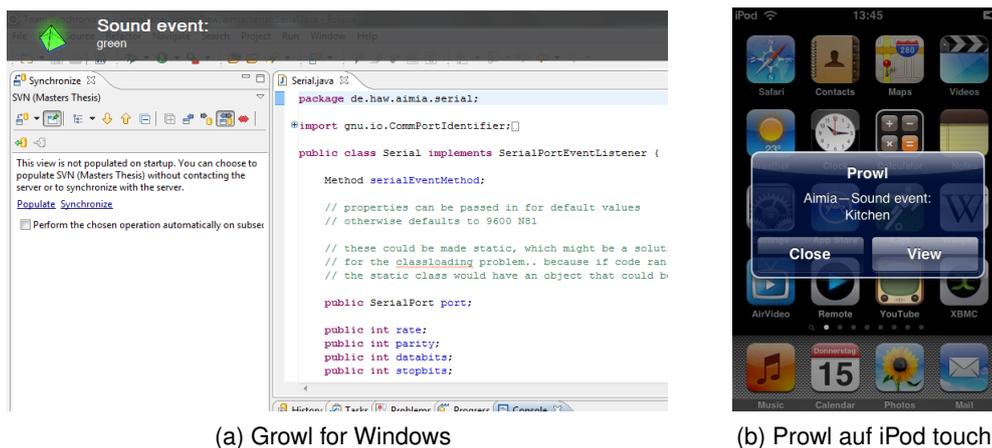


Abbildung 4.10.: Eingang einer Benachrichtigung

Im prototypischen Awareness System wurde eine Anbindung an „Growl for Windows“¹⁶ umgesetzt. Dadurch werden Benachrichtigungen an das Awareness System selbst, aber auch an Rechner, die dem Netzwerk beitreten (z. B. Notebook von Bekannten) verteilt. Auf diese Weise kann sich jeder Rechner, auf dem Growl-kompatible Software installiert ist, für Nachrichten aus dem Sound- und Event-Awareness-System registrieren. [Abbildung 4.10](#) zeigt Geräuschereignisse auf einem PC mit „Growl for Windows“ und einem *iPod touch* mit kompatibler Applikation¹⁷; via Push-Dienst.

¹⁵Growl: <http://growl.info/>

¹⁶Growl for Windows: <http://www.growlforwindows.com>

¹⁷Prowl: <http://prowl.weks.net/>

4.4. Evaluation

Das Kapitel zeigt eine erfolgreiche Verwirklichung eines Sound- und Event-Awareness-Systems. Integraler Bestandteil der Realisierung ist die Umsetzung aller wesentlichen Anforderungen. Das prototypische System erlaubt das Ermitteln, Verteilen und Wiedergeben von Geräuschereignissen. In erster Linie entstand ein Sensornetz mit Sound-Awareness-Motes, die eine multimodale Ausgabe verwirklichen. Die nachfolgende Integration von externen Diensten und weiteren Aktuatoren bietet dem Benutzer einen zusätzlichen Mehrwert.

Ein positiver Aspekt des prototypischen Sound- und Event-Awareness-Systems ist die einfache Erweiterbarkeit anhand neuer Sensorknoten. Der Benutzer kann einen neu erworbenen Sound-Awareness-Mote direkt in das System integrieren. Der Aufwand beschränkt sich dabei nur auf Einsetzen einer Batterie und Einschalten des Knotens. Optional kann die Farbe zu entsprechendem Aufstellungsort gewählt werden. Weitere Vorteile der gewählten Realisierung sind lose Kopplung vom optionalen Awareness System und die grundsätzliche Offenheit des Systems inklusive der Sound-Awareness-Motes.

Als Nachteil hat sich die Verwendung unterschiedlicher Mikrofone gezeigt. Durch unterschiedliche Vorverstärker und Mikrofonskapseln konnte kein einheitlicher Schwellenwert gefunden werden. Die abweichenden Charakteristiken der Kapseln wirkten sich teils sehr stark auf die Qualität der Mikrofonsignale aus. Weiterhin sollte der Wertebereich unterschiedlicher Sensoren angeglichen, d. h. normalisiert werden.

Die Unwuchtmotoren bieten eine alternative Modalität der Ausgabe. Die Bauform des Sound-Awareness-Mote-Prototypen fällt jedoch zu groß aus, als dass sie körpernah getragen werden können, um Vibrationen zu spüren. Spätere Versionen der Sensorknoten sollten demnach zumindest auf kleineren Mikrocontrollern basieren (z. B. Arduino Fio oder Mini).

Die Integration beispielhafter externer Dienste konnte durch die optionale ZigBee-Schnittstelle ohne großen Aufwand durchgeführt werden. Das rudimentäre Java-Programm bietet Möglichkeiten weitere Benachrichtigungsformen und -dienste, aber auch völlig neue Funktionen anzubieten. Umgesetzt wurden Logging, Historie und die Integration des Growl-Benachrichtigungssystems. Durch Verwendung von Growl lassen sich Nachrichten weiter verteilen, z. B. an weitere Rechner oder einen *iPod touch*. Für zukünftige Versionen des Awareness Systems ist die Integration von E-Mail- und SMS- Benachrichtigungen geplant.

5. Resümee

In dieser Masterarbeit wurden Ansätze untersucht, Sound- und Event-Awareness für Hörgeschädigte anzubieten. Die Beleuchtung geeigneter Methoden zur Darstellung von Geräuschereignissen bildet den analytischen Schwerpunkt der Arbeit. Es wurden Anforderungen anhand von Szenarien formuliert und in einer weiteren Iteration präzisiert. Abgrenzungen zu verwandten Arbeiten und den dort verwendeten Methoden ließen Schlüsse darüber zu, welche Eigenschaften der Systementwurf aufweisen sollte. Die Entscheidung, Klassifizierung von Geräuschereignissen außer Betracht zu lassen, ließ sich u. a. durch die Argumente Komplexität und Bevormundung begründen.

Das Konzept der Ambient-Awareness-Devices „Nimio“ zeigte, dass ein Großteil der Anforderungen aus den Szenarien durch die Ambient-Awareness-Devices abgedeckt werden kann. So gesehen, lag ein Systementwurf nahe, der aus autonom handelnden Sensorknoten besteht.

Durch die anschließende Systemanalyse konnte festgelegt werden, welche logische Architektur verfolgt werden soll. Als Infrastruktur wurde sich für ein kabelloses Sensornetz entschieden. Da eine gute Erweiterbarkeit des Netzes und ein dadurch weitreichend abdeckendes Sensornetz erzielt werden sollte, zeigte sich ZigBee als geeignetere Alternative zu Bluetooth. Aus den Anwendungsfällen und der Requirements-Liste konnten die nötigen Komponenten der Sensorknoten bestimmt werden. Die daraus resultierende Auswahl an Sensoren und Aktuatoren wurde im Kontext der Sound-Awareness-Motes vorgestellt.

Im [Kapitel 4](#) wurde abschließend ein prototypisches Sound- und Event-Awareness-System umgesetzt. Der Einsatz der Arduino-Plattform als Mikrocontroller und auch Programmierumgebung zeigte sich als geeignete Herangehensweise, um schnell zu lauffähigen Prototypen zu kommen. Weiterhin konnte durch Einsatz der Arduino-Controller mit Steckplatinen nahezu auf elektrotechnisches Fachwissen verzichtet werden. Einzig die Wahl der Mikrofone und entsprechender Vorverstärker zeigte sich als vielschichtige Aufgabe. Nach Rücksprachen mit einem Tontechniker wurden Vereinfachungen vorgenommen und spezielle Probleme vorerst außer Acht gelassen. Nachfolgend wurden Teile der Programmlogik erklärt und eine exemplarische Implementation der optionalen Schnittstelle mit Erweiterungen vorgestellt.

Das prototypische Sound- und Event-Awareness-System ist vollständig funktionstüchtig und erlaubt ständige Erweiterungen.

5.1. Fazit

In Gesprächen mit Gehörlosen hat sich gezeigt, dass die Resonanz auf ein solches System sehr unterschiedlich ausfällt. Einige sehen wenig Nutzen im Konzept der Sound Awareness und Peripheral Awareness. Begründen lässt sich diese Tatsache damit, dass einige Gehörlose kein Verlangen nach Informationen über Geräusche haben. Es ist Tatsache, dass viele Gehörlose die Fähigkeit zu Hören grundsätzlich als nicht erstrebenswert ansehen.

In bestimmten Situationen jedoch sind Benachrichtigungen unumgänglich. Feueralarm, Türklingel und ein schreiendes Baby sind nur drei Beispiele bei denen eine Unterstützung nicht nur sinnvoll erscheint. Die gerade für diese Situationen existierenden Hilfsmittel stellen sich häufig als starr und nicht erweiterbar dar. Auch die homogene Ausgabe der Aktuatoren (Blitzlicht) lässt keine direkte Unterscheidung von Ereignissen zu. Man stelle sich vor, dass Nachts die gesamte Wohnung durch Blitzlicht erleuchtet wird, obwohl nur ein Hund gebellt hat. Wenn nun ein Rauchmelder Alarm schlägt, kann keine Priorisierung erfolgen - es blitzt nun einmal gleich stark.

Die analysierten Methoden und die abschließende Realisierung haben ein Sound- und Event-Awareness-System hervorgebracht, das einerseits einfach zu benutzen und mit geringem Aufwand zu betreiben ist, andererseits trotz Einfachheit das Potential bietet, ein Bewusstsein über Geräuschereignisse zu erfahren. Im Test mit hörgeschädigten Probanden konnte beobachtet werden, dass sowohl die Wahl der Infrastruktur (Sensornetz) als auch die Sammlung externer Dienste als sehr nützlich aufgenommen wurde. Auch die Idee, dass die Identifikation des Ortes über die Farbe der Beleuchtung geäußert wird, fand positive Resonanz.

Lediglich die Logik der Sound-Awareness-Motes umfasst vergleichsweise wenig Filterung und Verarbeitung der Mikrofonsignale, um unterschiedlich auf Geräusche reagieren zu können. Aufgrund prototypischer Umsetzung wurde vorerst auf *Audio signal processing* verzichtet. Die logische Architektur des Systems lässt eine entsprechende Erweiterung jedoch mühelos zu.

5.2. Ausblick

Das hier analysierte, konzeptionierte und realisierte Sound- und Event-Awareness-System bietet viele Ansätze für Erweiterungen. Die Grundfunktionalität und Infrastruktur ist gegeben, wodurch eine solide Plattform für eine solche Erweiterung des Funktionsumfangs geboten wird. Eine optionale Schnittstelle existiert ebenfalls, wodurch das System eine exemplarische Anbindung an externe Dienste verfügt. Weitere Dienste lassen sich unabhängig vom restlichen System einbinden.

Als nächster Schritt sollte eine neue Version der Sound-Awareness-Motes entstehen, die auf verbesserte Mikrofone und Mikrofonvorverstärker zurückgreifen kann. Mikrofone mit Kugelcharakteristik sollten anderen Richtcharakteristiken vorgezogen werden, so genannte Druckempfänger bzw. Druckmikrofone könnten eine starke Verbesserung der Geräuschwahrnehmung bedeuten (Quelle: Rücksprache mit Tontechniker). Die neue Version der Sensorknoten sollte außerdem über neue Programmlogik verfügen, die interruptbasiert arbeitet. Dadurch kann Nebenläufigkeit verwirklicht werden, so dass die Sound-Awareness-Motes während einer blockierenden Aufgabe (z. B. Senden/Empfangen) keinerlei Geräuschereignisse verpassen.

Weiterhin sollte untersucht werden, ob eine Signalverarbeitung auf den Sensorknoten angebracht und machbar wäre. Durch Implementierung einer *Schnellen Fourier-Transformation (FFT)* und *Short-Time-Fourier-Transformation (STFT)* könnten u. a. die Frequenzen des Mikrofonsignals analysiert und das Geräusch klassifiziert werden (vgl. ([Doukas u. Maglogianis, 2008](#))).

Zwischenzeitlich war eine Integration eines so genannten *Event Brokers* als externer Dienst vorgesehen. Event Broker bieten eine Art Middleware an, die es ermöglicht, Ereignisse zu verteilen. Durch Registrierung für entsprechende Ereignisse kann jeder Empfänger beeinflussen, welche Nachrichten empfangen werden sollen. In ([Hollatz, 2008](#)) werden Event Broker und ähnliche Kommunikationsinfrastrukturen vorgestellt. Das Sound- und Event-Awareness-System könnte durch einen Adapter mit einem Event Broker verbunden werden und so auf alle weiteren Ereignisse aus der intelligenten Umgebung reagieren oder neue Ereignisse für diese Umgebung auslösen.

Literaturverzeichnis

- [Abowd u. a. 1999] ABOWD, Gregory D. ; DEY, Anind K. ; BROWN, Peter J. ; DAVIES, Nigel ; SMITH, Mark ; STEGGLES, Pete: Towards a Better Understanding of Context and Context-Awareness. In: *HUC '99: Proceedings of the 1st international symposium on Handheld and Ubiquitous Computing*. London, UK : Springer-Verlag, 1999. – ISBN 3–540–66550–1, S. 304–307
- [BMJ 2002] BUNDESMINISTERIUM DER JUSTIZ, BERLIN: *Gesetz zur Gleichstellung behinderter Menschen*. Website. <http://www.gesetze-im-internet.de/bgg/index.html>. Version: April 2002. – [Online; accessed 28-April-2010]
- [Brewer u. a. 2005] BREWER, Johanna ; WILLIAMS, Amanda ; DOURISH, Paul: Nimio: An Ambient Awareness Device. In: *Proceedings of the European Conference on Computer-Supported Cooperative Work (ECSCW'05)*, ACM Press, 2005
- [Brewer u. a. 2007] BREWER, Johanna ; WILLIAMS, Amanda ; DOURISH, Paul: A handle on what's going on: combining tangible interfaces and ambient displays for collaborative groups. In: *TEI '07: Proceedings of the 1st international conference on Tangible and embedded interaction*. New York, NY, USA : ACM, 2007. – ISBN 978–1–59593–619–6, S. 3–10
- [Broad 2005] BROAD, William J.: *A Web of Sensors, Taking Earth's Pulse*. The New York Times (Website). <http://www.nytimes.com/2005/05/10/science/earth/10wire.html>. Version: May 2005
- [CHIL Demo 2006] CENTER FOR SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL RESEARCH (ITC-IRST), ITALY: *Acoustic Event Detection and Classification*. Website. http://shine.itc.it/index.php?option=com_content&task=view&id=128&Itemid=181. Version: 2006. – [Online; accessed 28-April-2010]
- [Daintree Networks 2008] DAINTREE NETWORKS: *Getting Started with ZigBee and IEEE 802.15.4*. White paper. <http://www.daintree.net/whatsnew/080229-primer.php>. Version: February 2008
- [DBSV 2005] DEUTSCHER BLINDEN- UND SEHBEHINDERTENVERBAND E.V., BERLIN: *Was ist Taubblindheit?* Website. http://www.taubblindenwerk.de/was_ist_Taubblindheit.html. Version: December 2005. – [Online; accessed 28-April-2010]

- [Destatis 2009] STATISTISCHES BUNDESAMT, WIESBADEN: Bevölkerung Deutschlands bis 2060 - 12. koordinierte Bevölkerungsvorausberechnung. In: *Pressekonferenz des Statistischen Bundesamtes am 18. November 2009*, 2009
- [Doukas u. Maglogiannis 2008] DOUKAS, Charalampos ; MAGLOGIANNIS, Ilias: Enabling human status awareness in assistive environments based on advanced sound and motion data classification. In: *PETRA '08: Proceedings of the 1st international conference on PErvasive Technologies Related to Assistive Environments*. New York, NY, USA : ACM, 2008. – ISBN 978-1-60558-067-8, S. 1-8
- [Fastl u. Zwicker 2005] FASTL, Hugo ; ZWICKER, Eberhard: *Psychoacoustics : Facts and Models*. Springer, 2005. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-68888-4>. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-68888-4>. – ISBN 3540231595
- [Gautschi 2002] GAUTSCHI, Gustav: *Piezoelectric Sensorics: Force, Strain, Pressure, Acceleration and Acoustic Emission Sensors, Materials and Amplifiers*. Bd. 1. Springer-Verlag, 2002. – 264 S. <http://www.springer.com/engineering/robotics/book/978-3-540-42259-4>. – ISBN 3540422595
- [Gröchenig 2001] GRÖCHENIG, Karlheinz: *Foundations of time-frequency analysis*. Boston, MA : Birkhäuser Boston Inc., 2001 (Applied and Numerical Harmonic Analysis). – xvi+359 S. <http://www.springer.com/birkhauser/engineering/book/978-0-8176-4022-4>. – ISBN 0-8176-4022-3
- [Gunther u. a. 2002] GUNTHER, Eric ; DAVENPORT, Glorianna ; O'MODHRAIN, Sile: Cutaneous grooves: composing for the sense of touch. In: *NIME '02: Proceedings of the 2002 conference on New interfaces for musical expression*. Singapore, Singapore : National University of Singapore, 2002. – ISBN 1-87465365-8, 1-6
- [Haenselmann 2006] HAENSELMANN, Thomas: *An FDL'ed Textbook on Sensor Networks*. Website. http://pi4.informatik.uni-mannheim.de/~haensel/sn_book. Version: April 2006. – [Online; accessed 28-April-2010]
- [Hagras u. a. 2004] HAGRAS, H. ; CALLAGHAN, V. ; COLLEY, M. ; CLARKE, G. ; POUNDS-CORNISH, A. ; DUMAN, H.: Creating an ambient-intelligence environment using embedded agents. In: *Intelligent Systems, IEEE* 19 (2004), nov.-dec., Nr. 6, S. 12 – 20. <http://dx.doi.org/10.1109/MIS.2004.61>. – DOI 10.1109/MIS.2004.61. – ISSN 1541-1672
- [Haller] HALLER, Hauke: *Leuchtdioden Rechercheportal*. Website. <http://www.led-info.de/grundlagen/leuchtdioden.html>. – [Online; accessed 28-April-2010]

- [Hellebrand 2007] HELLEBRAND, Sabine: *Untertitel für Hörgeschädigte im Fernsehen - Untersuchung einer 1:1-Untertitelung*, Eberhard-Karls-Universität Tübingen, Diplomarbeit, September 2007. <http://sign-dialog.de/publikationen/>
- [Ho-Ching u. a. 2002] HO-CHING, F. Wai-ling ; MANKOFF, Jennifer ; LANDAY, James A.: From Data to Display: the Design and Evaluation of a Peripheral Sound Display for the Deaf / EECS Department, University of California, Berkeley. Version: Sep 2002. <http://www.eecs.berkeley.edu/Pubs/TechRpts/2002/6194.html>. 2002 (UCB/CSD-02-1204). – Forschungsbericht
- [Ho-Ching u. a. 2003] HO-CHING, F. Wai-ling ; MANKOFF, Jennifer ; LANDAY, James A.: Can you see what i hear?: The design and evaluation of a peripheral sound display for the deaf. In: *CHI '03: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*. New York, NY, USA : ACM, 2003. – ISBN 1-58113-630-7, S. 161-168
- [Hollatz 2008] HOLLATZ, Dennis: *Managing Information - Infrastructures for Ambient Intelligence / Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg*. Version: 2008. <http://users.informatik.haw-hamburg.de/~ubicomp/projekte/master07-08-aw/hollatz/bericht.pdf>. 2008. – Seminararbeit
- [IEEE 1451.6 2004] IEEE 1451.6 COMMITTEE MEMBERS AND AFFILIATIONS: *The Proposed IEEE 1451.6 Standard*. Website. <http://grouper.ieee.org/groups/1451/6/index.htm>. Version: 2004. – [Online; accessed 28-April-2010]
- [IEEE 802.15.4 2006] IEEE COMPUTER SOCIETY: *Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs)*. <http://standards.ieee.org/getieee802/802.15.html>. Version: September 2006
- [Janocha u. a. 2004] JANOCHA, Hartmut ; BUTZMANN, Stefan ; STÖLTING, Hans-Dieter ; BACKÉ, Wolfgang ; JANOCHA, Hartmut (Hrsg.): *Actuators: Basics and Applications*. Bd. 1. Springer-Verlag, 2004. – 343 S. <http://www.springer.com/engineering/book/978-3-540-61564-4>. – ISBN 3540615644
- [Kahlbrandt u. a. 2007] KAHLBRANDT, Bernd ; RAASCH, Jörg ; ZUKUNFT, Olaf: *Software Engineering - Grundlagen: Requirements-Engineering*. Skript zur 'Software Engineering'-Vorlesung (SE Version 27.11.2007), 2007
- [Kremer 2008] KREMER, Martina: *Ars Auditus*. Website. http://www.dasp.uni-wuppertal.de/ars_auditus/index.html. Version: 2008. – [Online; accessed 28-April-2010]
- [Ladd 2003] LADD, Paddy: *Understanding Deaf Culture*. Bristol : Multilingual Matters, 2003 <http://linguistlist.org/pubs/books/get-book.cfm?BookID=5578>

- [LEE u. a. 2007] LEE, DANIEL G. ; FELS, DEBORAH I. ; UDO, JOHN P.: Emotive captioning. In: *Comput. Entertain.* 5 (2007), Nr. 2, S. 11. <http://dx.doi.org/http://doi.acm.org/10.1145/1279540.1279551>. – DOI <http://doi.acm.org/10.1145/1279540.1279551>. – ISSN 1544–3574
- [Legg 2004] LEGG, Gary: *ZigBee: Wireless Technology for Low-Power Sensor Networks*. Website. <http://www.techonline.com/showArticle.jhtml?articleID=192200323&queryText=ZigBee:+Wireless+Technology+for+Low-Power+Sensor+Networks>. Version: May 2004. – [Online; accessed 28-April-2010]
- [Liechti 2000] LIECHTI, Olivier: Awareness and the WWW: an overview. In: *SIGGROUP Bull.* 21 (2000), Nr. 3, S. 3–12. <http://dx.doi.org/http://doi.acm.org/10.1145/605647.605648>. – DOI <http://doi.acm.org/10.1145/605647.605648>
- [Lottridge u. Mackay 2009] LOTTRIDGE, Danielle ; MACKAY, Wendy E.: Generative walkthroughs: to support creative redesign. In: *C&C '09: Proceeding of the seventh ACM conference on Creativity and cognition*. New York, NY, USA : ACM, 2009. – ISBN 978–1–60558–865–0, S. 175–184
- [Macho u. a. 2005] MACHO, D. ; MALKIN, R. ; NADEU, C. ; TEMKO, A.: First evaluation of acoustic event classification systems in CHIL project. In: *HSCMA 2005 workshop*, 2005. – Accepted for publication
- [Markopoulos 2007] MARKOPOULOS, Panos: Awareness Systems: Design and Research Issues. In: *6th workshop on Social Intelligence Design 2007*, 2007
- [Markopoulos u. a. 2004] MARKOPOULOS, Panos ; ROMERO, Natalia ; BAREN, Joy van ; IJSSELSTEIJN, Wijnand ; RUYTER, Boris de ; FARSHCHIAN, Babak: Keeping in touch with the family: home and away with the ASTRA awareness system. In: *CHI '04: CHI '04 extended abstracts on Human factors in computing systems*. New York, NY, USA : ACM, 2004. – ISBN 1–58113–703–6, S. 1351–1354
- [Matthews u. a. 2006] MATTHEWS, Tara ; FONG, Janette ; HO-CHING, F. W. ; MANKOFF, Jennifer: Evaluating non-speech sound visualizations for the deaf / EECS Department, University of California, Berkeley. Version: 2006. <http://taramatthews.org/pubs/matthews-BIT-submission.pdf>. 2006. – Forschungsbericht
- [Matthews u. a. 2005a] MATTHEWS, Tara ; FONG, Janette ; MANKOFF, Jennifer: Visualizing non-speech sounds for the deaf. In: *Assets '05: Proceedings of the 7th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility*. New York, NY, USA : ACM, 2005. – ISBN 1–59593–159–7, S. 52–59

- [Matthews 2007] MATTHEWS, Tara L.: *Designing and Evaluating Glanceable Peripheral Displays*, EECS Department, University of California, Berkeley, Diss., May 2007. <http://www.eecs.berkeley.edu/Pubs/TechRpts/2007/EECS-2007-56.html>
- [Matthews u. a. 2005b] MATTHEWS, Tara L. ; RATTENBURY, Tye L. ; CARTER, Scott A.: *Defining, Designing, and Evaluating Peripheral Displays: An Analysis Using Activity Theory* / EECS Department, University of California, Berkeley. Version: Nov 2005. <http://www.eecs.berkeley.edu/Pubs/TechRpts/2005/EECS-2005-20.html>. 2005 (UCB/EECS-2005-20). – Forschungsbericht
- [Meißner 2007] MEISSNER, Stefan: *Barrierefreiheit mithilfe von Ambient Intelligence* / Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg. Version: Jul 2007. <http://users.informatik.haw-hamburg.de/~ubicomp/projekte/master2007/meissner/bericht.pdf>. 2007. – Seminararbeit
- [Meißner 2008] MEISSNER, Stefan: *Ambient Assisted Living - Accessibility* / Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg. Version: Feb 2008. <http://users.informatik.haw-hamburg.de/~ubicomp/projekte/master07-08-aw/meissner/bericht.pdf>. 2008. – Seminararbeit
- [Mellis 2009] MELLIS, David A.: *Arduino Introduction*. Website. <http://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>. Version: Dec 2009. – [Online; accessed 28-April-2010]
- [Mellis 2010] MELLIS, David A.: *Arduino Duemilanove*. Website. <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardDuemilanove>. Version: Feb 2010. – [Online; accessed 28-April-2010]
- [Moore u. Levitan 2003] MOORE, Matthew S. (Hrsg.) ; LEVITAN, Linda (Hrsg.): *For Hearing People Only*. 3rd Edition. Deaf Life Press, MSM Productions Ltd, Rochester, New York, 2003. – 768 S. – ISBN 0963401637
- [Mota 2006] MOTA, Selene: *Ambient Awareness at Home* / Eindhoven University of Technology, The Netherlands. Version: 2006. http://www.awareness.id.tue.nl/blog/files/doctoral_colloquium_selene_mota.pdf. 2006. – Forschungsbericht
- [Mumolo u. a. 2000] MUMOLO, E. ; NOLICH, M. ; VERCELLI, G.: Algorithms and architectures for acoustic localization based on microphone array in service robotics. In: *Robotics and Automation, 2000. Proceedings. ICRA '00. IEEE International Conference on* Bd. 3, 2000, S. 2966–2971 vol.3
- [Nanayakkara u. a. 2007] NANAYAKKARA, S.C. ; TAYLOR, E. ; WYSE, L. ; ONG, S.H.: Towards building an experiential music visualizer. In: *Information, Communications & Signal Processing, 2007 6th International Conference on*, 2007, S. 1–5

- [Nanayakkara u. a. 2009] NANAYAKKARA, Suranga ; TAYLOR, Elizabeth ; WYSE, Lonce ; ONG, S H.: An enhanced musical experience for the deaf: design and evaluation of a music display and a haptic chair. In: *CHI '09: Proceedings of the 27th international conference on Human factors in computing systems*. New York, NY, USA : ACM, 2009. – ISBN 978-1-60558-246-7, S. 337–346
- [Nave 2006] NAVE, Rod: 'Sound and Hearing' - Part of HyperPhysics - An exploration environment for physics. Website. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/sound/soucon.html>. Version:2006. – [Online; accessed 28-April-2010]
- [Nehmer u. a. 2006] NEHMER, Jürgen ; BECKER, Martin ; KARSHMER, Arthur ; LAMM, Rosmarie: Living assistance systems: an ambient intelligence approach. In: *ICSE '06: Proceedings of the 28th international conference on Software engineering*. New York, NY, USA : ACM, 2006. – ISBN 1-59593-375-1, S. 43–50
- [Pahlke 2001] PAHLKE, Dr. T.: *Statistische Angaben zur Hörschädigung in Deutschland (2001)*. Website. <http://www.schwerhoerigen-netz.de/MAIN/statistik.asp?inhalt=statistik02>. Version:January 2001. – [Online; accessed 28-April-2010]
- [Piezocryst] PIEZOCRYST ADVANCED SENSORICS GMBH: *Grundlagen: Piezoelektrische Sensoren*. Website. http://www.piezocryst.com/piezoelectric_sensors_de.php. – [Online; accessed 28-April-2010]
- [Riva u. a. 2005] RIVA, G. (Hrsg.) ; VATALARO, F. (Hrsg.) ; DAVIDE, F. (Hrsg.) ; ALCAÑIZ, M. (Hrsg.): *Emerging Communication*. Bd. 6: *Ambient Intelligence. The Evolution of Technology, Communication and Cognition Towards the Future of Human-Computer Interaction*. IOS Press, 2005 <http://www.neurovr.org/emerging/volume6.html>
- [Romer u. Mattern 2004] ROMER, K. ; MATTERN, F.: The design space of wireless sensor networks. In: *Wireless Communications, IEEE* 11 (2004), dec., Nr. 6, S. 54 – 61. <http://dx.doi.org/10.1109/MWC.2004.1368897>. – DOI 10.1109/MWC.2004.1368897. – ISSN 1536-1284
- [Sengpiel 2010] SENGPIEL, Eberhard: *Tontechnik-Rechner*. Website. <http://www.sengpielaudio.com/Rechner-sensitivity.htm>. Version:2010. – [Online; accessed 28-April-2010]
- [Tanenbaum u. van Steen 2006] TANENBAUM, Andrew S. ; STEEN, Maarten van: *Distributed Systems: Principles and Paradigms*. 2nd Edition. Upper Saddle River, NJ, USA : Prentice-Hall, Inc., 2006 <http://www.pearsonhighered.com/educator/product/Distributed-Systems-Principles-and-Paradigms/9780132392273.page>. – ISBN 0132392275

- [Temko u. a. 2006] TEMKO, Andrey ; MALKIN, Robert ; ZIEGER, Christian ; MACHO, Dusan ; NADEU, Climent ; OMOLOGO, Maurizio: CLEAR Evaluation of Acoustic Event Detection and Classification Systems. In: STIEFELHAGEN, Rainer (Hrsg.) ; GAROFALO, John S. (Hrsg.): *CLEAR* Bd. 4122, Springer-Verlag, 2006 (Lecture Notes in Computer Science). – ISBN 978–3–540–69567–7, 311-322
- [Warneke u. a. 2001] WARNEKE, B. ; LAST, M. ; LIEBOWITZ, B. ; PISTER, K.S.J.: Smart Dust: communicating with a cubic-millimeter computer. In: *Computer* 34 (2001), jan, Nr. 1, S. 44–51. <http://dx.doi.org/10.1109/2.895117>. – DOI 10.1109/2.895117. – ISSN 0018–9162
- [Wikipedia 2009] WIKIPEDIA: *VU meter* — *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=VU_meter&oldid=328414879. Version: 2009. – [Online; accessed 23-February-2010]
- [Wikipedia 2010a] WIKIPEDIA: *Electret microphone* — *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Electret_microphone&oldid=351939948. Version: 2010. – [Online; accessed 1-April-2010]
- [Wikipedia 2010b] WIKIPEDIA: *Head-up display* — *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Head-up_display&oldid=342314254. Version: 2010. – [Online; accessed 1-March-2010]
- [Worseck 2002] WORSECK, Thomas: *Zielvereinbarungen nach § 5 BGG am Beispiel des Deutschen Gehörlosen-Bundes e.V.*, Hamburger Universität für Wirtschaft und Politik, Diplomarbeit, September 2002. <http://sign-dialog.de/publikationen/>
- [Wu 2005] WU, Jie (Hrsg.): *Handbook On Theoretical And Algorithmic Aspects Of Sensor, Ad Hoc Wireless, and Peer-to-Peer Networks*. Boston, MA, USA : Auerbach Publications, 2005 <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1098718>. – ISBN 0849328322
- [XBee Manual 2010] DIGI INTERNATIONAL INC.: *XBee®/XBee-PRO® ZB RF Modules*. 11001 Bren Road East Minnetonka, MN 55343: Digi International Inc., April 2010. <http://www.digi.com/products/wireless/zigbee-mesh/xbee-zb-module.jsp>
- [ZigBee Alliance 2007] ZIGBEE ALLIANCE™: *ZigBee and Wireless Radio Frequency Coexistence*. White paper. <http://zigbee.org/LearnMore/WhitePapers.aspx>. Version: June 2007

A. Anhang

A.1. Messungen

Weitere Messungen der Mikrofonsignale, wie sie auch in [Unterabschnitt 4.2.4](#) durchgeführt wurden (teils unterschiedliche Mikrofone):



Abbildung A.1.: Babyschreien (etwas entfernt)

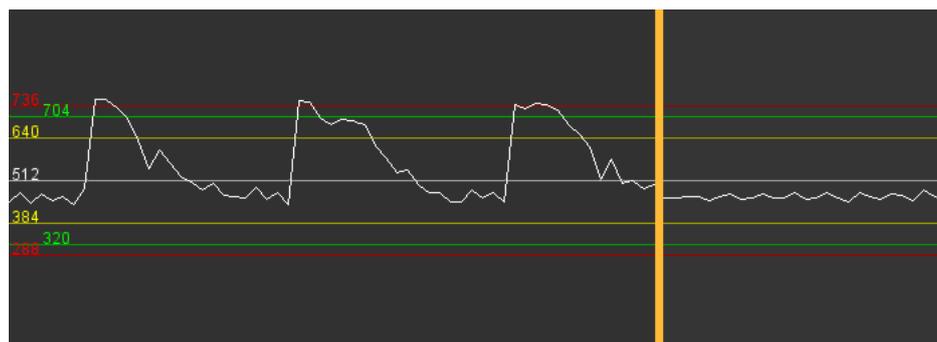


Abbildung A.2.: Klatschen

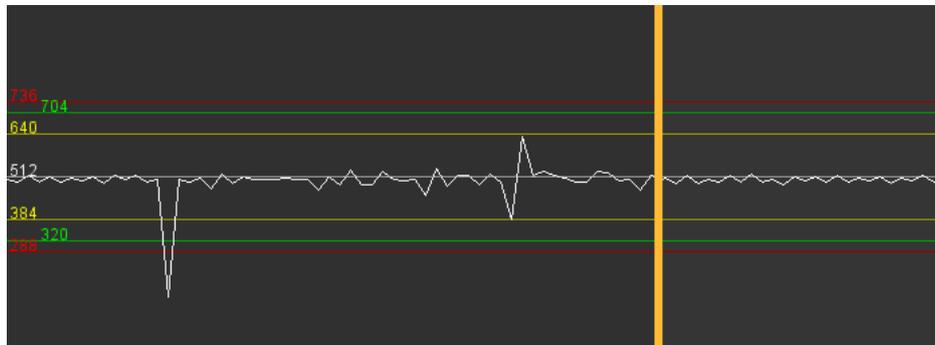


Abbildung A.3.: Klatschen mit alternativem Mikrofon

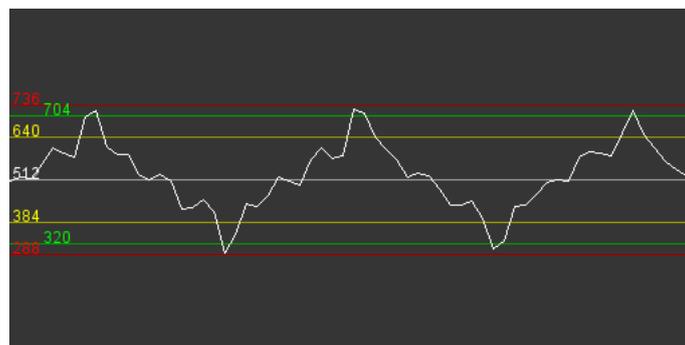


Abbildung A.4.: Rechtecksignal, 800 Hz

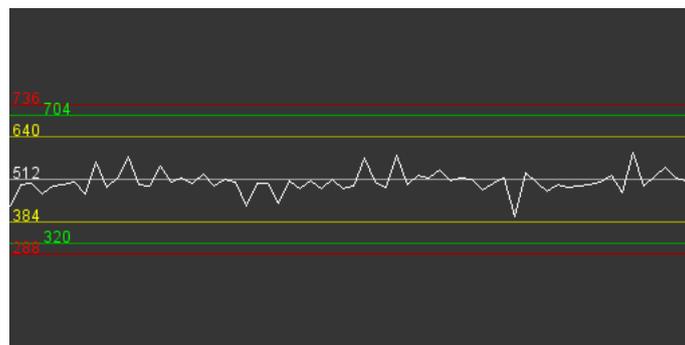


Abbildung A.5.: Rechtecksignal, 800 Hz (weiter entfernt)

A.2. Schaltkreise, Steckplatinen

Der in [Abschnitt 4.2.1](#) besprochene Mikrofon-Vorverstärker, dargestellt als Steckplatine:

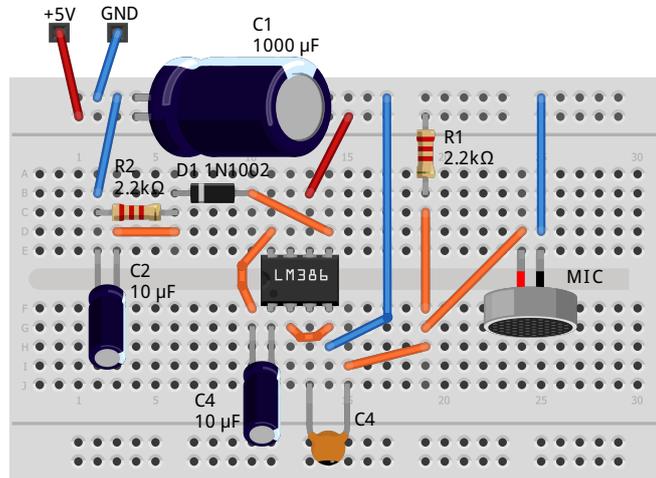


Abbildung A.6.: Steckplatine des Mikrofon-Vorverstärkers

A.3. Screenshots, Fotos

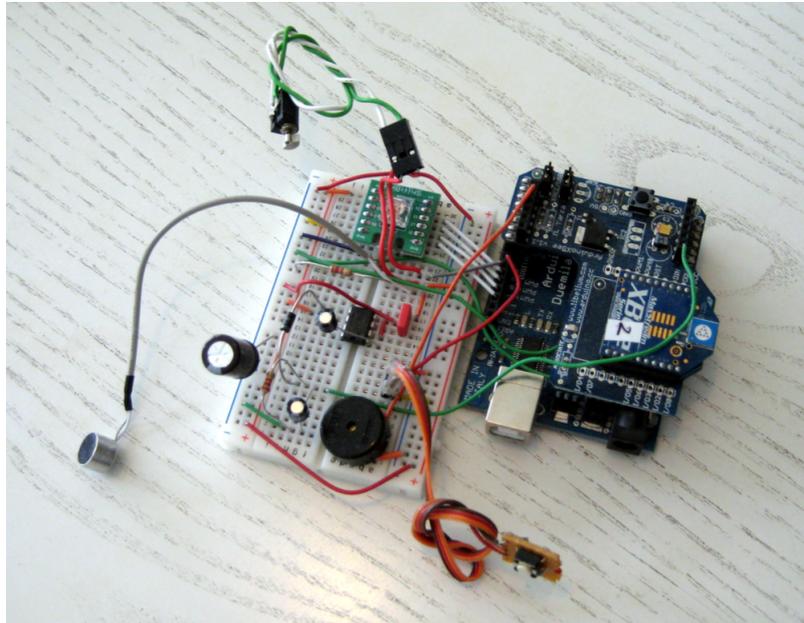


Abbildung A.7.: Foto eines prototypischen Sound-Awareness-Motes

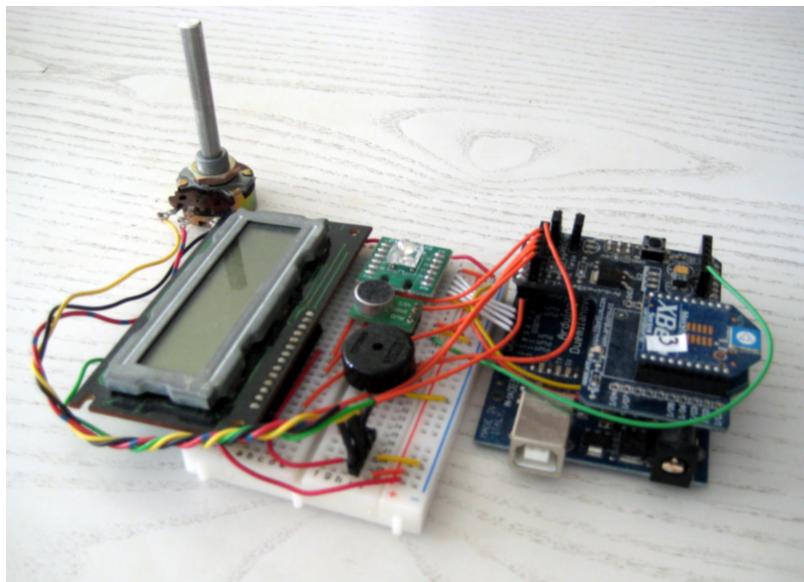


Abbildung A.8.: Foto eines Motes für Mikrofonmessungen

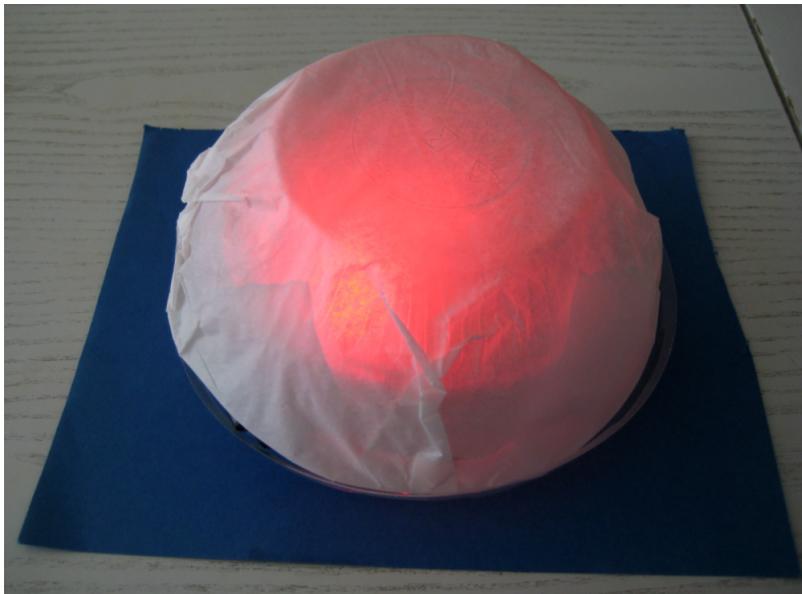


Abbildung A.9.: Prototyp eines Sound-Awareness-Motes (Identität „blau“) benachrichtigt über Ereignis vom Knoten „rot“

Im Laufe der Realisierung zeigte sich der Bedarf, die Sound-Awareness-Motes kabellos neu programmieren zu können. Die Sensorknoten können dafür am derzeitigen Ort bleiben und benötigen keinen Umbau bzw. keine Kabelverbindung zu dem PC. Zur Vereinfachung des Programmiervorgangs ist während der Realisierung des Sound- und Event-Awareness-Systems folgendes Hilfsprogramm entstanden:

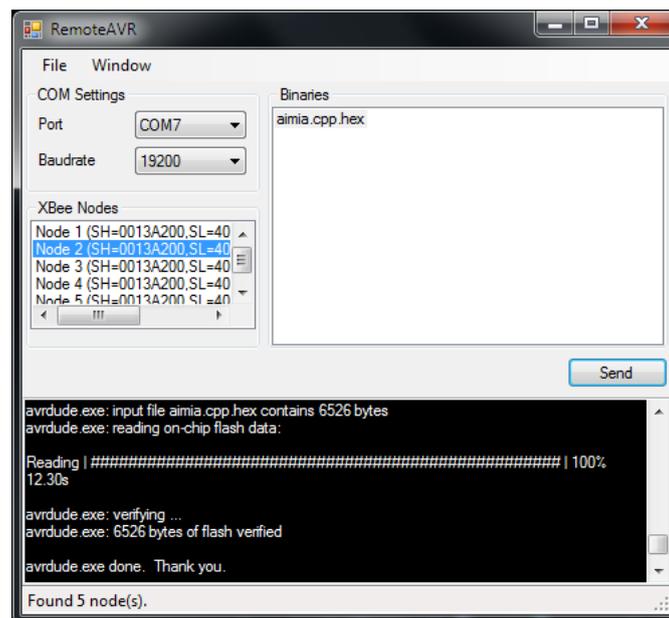


Abbildung A.10.: RemoteAVR listet erreichbare Knoten auf, die neu programmiert werden können

Die Applikation Prowl erlaubt Growl-kompatible Benachrichtigungen auf *iPhone*, *iPod touch* oder *iPad* (siehe [Abschnitt 4.3](#)):



Abbildung A.11.: Benachrichtigung auf einem *iPod touch*

A.4. Programmcode Prototyp

```
1 #include "Beeper.h"
2 #include "ShiftBrite.h"
3
4 //#define VIBRATION // not every mote can vibrate
5 #define DEBUGLEVEL 2
6
7 #define BUTTON_PIN      7
8 #define SPEAKER_PIN    2
9 #define MICROPHONE_PIN 0
10 // Mic /w selfmade preamp = 490, Mic /w 100x preamp = 580
11 #define MIC_THRESHOLD_SELF 500
12 #define MIC_THRESHOLD_100 580
13 #define SB_STARTPIN    10
14 #define VIBRATION_PIN  9
15 #define CALLBUTTON_PIN 8
16 #define MAX_ID         7
```

```
17
18 #define XBEE_GUARD_TIME 1100
19 #define XBEE_DELAY 100 // just to be sure
20
21 int red = 1, green = 2, blue = 3, yellow = 4, magenta = 5, cyan =
    6, white = 7; // pre defined IDs
22
23 int myID = 0;
24 int val, spd, value, threshold, intensity, readIn;
25 int vibra_delay;
26 long serialSpeed = 19200;
27
28 ShiftBrite SB(SB_STARTPIN); // C = SB_STARTPIN, E =
    SB_STARTPIN+1, L = SB_STARTPIN+2, D = SB_STARTPIN+3
29
30 void setup()
31 {
32     pinMode(BUTTON_PIN, INPUT);
33     Serial.begin(serialSpeed); // Serial speed in Baud
34
35     // "Bootloader" - set destinations to coordinator - for
        programming
36     delay(XBEE_GUARD_TIME);
37     Serial.print("+++");
38     delay(XBEE_GUARD_TIME);
39     Serial.println("ATDH0");
40     delay(XBEE_DELAY);
41     Serial.println("ATDL0");
42     delay(XBEE_DELAY);
43     Serial.println("ATCN");
44     Beeper::beep(SPEAKER_PIN, 100, 3000);
45
46     // Sound Awareness Mote setup
47
48     SB.setPower(127); // LED-Brightness
49
50     spd = 10;
51     threshold = MIC_THRESHOLD_SELF;
52
53     debugBeep(3, 50, 50, 4000);
54
55     // BEGIN: XBee configuration
56     /* Default AT Command Mode Sequence (for transition to Command
        Mode):
```

```
57   - No characters sent for one second
58   - Input three plus characters ("+++") within one second
59   - No characters sent for one second */
60   delay(XBEE_GUARD_TIME);
61   Serial.print("+++");
62   delay(XBEE_GUARD_TIME);
63   Serial.println("ATDH0000");
64   delay(XBEE_DELAY);
65   Serial.println("ATDLFFFF");
66   delay(XBEE_DELAY);
67   Serial.flush();
68   Serial.println("ATNI");
69   delay(XBEE_DELAY);
70   myID = readSerialAtoI();
71   delay(XBEE_DELAY);
72   Serial.println("ATCN");
73   // END: XBee configuration
74
75   // Check for robustness...
76   // MAX_ID number of nodes possible for prototype
77   myID = (myID > 0 && myID <= MAX_ID) ? myID : 0;
78
79 #if (DEBUGLEVEL > 0)
80   // Beep out your ID!
81   debugBeep(myID, 50, 50, 4000);
82   if (myID < 1){
83     debugBeep(1, 200, 200, 1000);
84   }
85 #endif
86
87   if(myID > 2){
88     // use higher threshold for Sparkfun Mic (BOB-08669)
89     threshold = MIC_THRESHOLD_100;
90   }
91
92   // BEGIN: Vibration configuration
93 #ifndef VIBRATION
94   vibra_delay = 300;
95   pinMode(VIBRATION_PIN, OUTPUT);
96   pinMode(CALLBUTTON_PIN, INPUT);
97 #endif
98   // END: Vibration configuration
99 }
100
```

```
101 void loop()
102 {
103   val = analogRead(MICROPHONE_PIN);
104   #ifdef VIBRATION
105     if(val>threshold || digitalRead(CALLBUTTON_PIN) == HIGH){
106   #else
107     if(val>threshold){
108   #endif
109     Serial.print(myID, BYTE);
110     fade(myID);
111   #ifdef VIBRATION
112     vibrate(myID);
113   #endif
114   }
115
116   if (Serial.available()) {
117     readIn = Serial.read();
118     if (readIn > 0 && readIn < MAX_ID && readIn != myID){
119       fade(readIn);
120   #ifdef VIBRATION
121       vibrate(readIn);
122   #endif
123     }
124     if (readIn == 'X'){
125       if(Serial.available()){
126         readIn = Serial.read();
127         if (readIn == (myID+10)){
128           light(red, 1023);
129           delay(100);
130           Serial.print('X', BYTE);
131           Serial.print(myID+11, BYTE);
132           delay(100);
133           light(0, 0);
134         }
135       }
136     }
137   }
138   delay(2);
139 }
140
141
142 void fade(int color){
143   int cnt = 1;
144   while(cnt < 3){
```

```
145     for(value = 0 ; value <= 1023; value+=31) // fade in (from
        min to max)
146     {
147         light(color, value);
148         delay(spd);
149     }
150     for(value = 1023; value >=0; value-=31) // fade out (from
        max to min)
151     {
152         light(color, value);
153         delay(spd);
154     }
155     cnt++;
156 }
157 }
158
159 // color: red = 1, green = 2, blue = 3, yellow = 4, magenta = 5,
        cyan = 6, white = 7
160 void light(int color, int intensity){
161     switch (color) {
162     case 1:
163         SB.setColor(intensity,0,0);
164         break;
165     case 2:
166         SB.setColor(0,intensity,0);
167         break;
168
169     case 3:
170         SB.setColor(0,0,intensity);
171         break;
172
173     case 4:
174         SB.setColor(intensity, intensity, 0);
175         break;
176
177     case 5:
178         SB.setColor(intensity, 0, intensity);
179         break;
180
181     case 6:
182         SB.setColor(0, intensity, intensity);
183         break;
184
185     case 7:
```

```
186     SB.setColor(intensity, intensity, intensity);
187     break;
188
189     default:
190         SB.setColor(0,0,0);
191         break;
192     }
193 }
194
195 int readSerialAtoI(){
196     char idString[Serial.available()];
197     readSerialString(idString);
198     return atoi(idString);
199 }
200
201 int readSerialString(char* string){
202     int strCnt;
203     for(strCnt = 0; Serial.available() > 0; strCnt++){
204         string[strCnt] = char(Serial.read());
205     }
206     return strCnt;
207 }
208
209 void debugBeep(int count, int beepLength, int pauseLength, int
    frequency){
210     int i = 0;
211     while(i<count){
212         Beeper::beep(SPEAKER_PIN, beepLength, frequency);
213 #if (DEBUGLEVEL > 1)
214         light(red,1023);
215         delay(pauseLength);
216         light(0,0);
217 #else
218         delay(pauseLength);
219 #endif
220         i++;
221     }
222 }
223
224 void vibrate(int id){
225     int i = 0;
226     while(i<id){
227         digitalWrite(VIBRATION_PIN, HIGH);
228         delay(vibra_delay);
```

```
229     digitalWrite(VIBRATION_PIN, LOW);
230     delay(vibra_delay);
231     i++;
232 }
233 }
```

Versicherung über Selbstständigkeit

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit im Sinne der Prüfungsordnung nach §24(5) ohne fremde Hilfe selbstständig verfasst und nur die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.

Hamburg, 29. April 2010

Ort, Datum

Unterschrift