

Bachelorarbeit



Dominik Bardelmann

Thema

Konzeption und Gestaltung eines adaptiven
Systems zur Vermittlung von kontextsensitiven
Informationen im öffentlichen Raum



HOCHSCHULE OSNABRÜCK
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Hochschule Osnabrück
University of Applied Sciences

Fakultät Ingenieurwissenschaften und Informatik

Bachelorarbeit
Media & Interaction Design

Dominik Bardelmann
Matrikelnummer: 751996
mail@dominikbardelmann.de

Erstprüfer: Herr Prof. Johannes Nehls
Zweitprüfer: Herr Prof. Dr. Clemens Westerkamp

Ausgabedatum: 23.03.2020
Abgabedatum: 20.07.2020

Kurzfassung

Städte sollten durch die zunehmende Urbanisierung ein erweitertes Aufgabenverständnis entwickeln, um neuen Anforderungen gerecht zu werden. Jedoch fehlen zukunftsfähige Systeme zur Informationsweitergabe an die Bürger im öffentlichen Raum. Durch den Einsatz digitaler Technologien können Städte intelligenter werden und Lösungen entwickeln.

Das Ziel dieser Arbeit ist die Konzeption und Gestaltung eines adaptiven Systems, das im öffentlichen Raum kontextsensitive Informationen vermittelt. Im Rahmen einer Ist-Aufnahme werden Aspekte aus den Bereichen der Signaletik, Digital Signage, Wahrnehmungspsychologie, Sinnesphysiologie und Ganganalyse betrachtet, um Anforderungen für ein solches System zu entwickeln. Die Bewertung von bereits bestehenden Systemen identifiziert deren Vor- und Nachteile. Auf dieser Basis wird ein Konzept erarbeitet, das die Grundlagen eines Blindenleitsystems aufgreift. Zur Vermittlung von Informationen nutzt das neue System taktile Reize und den Boden als Übertragungsmedium.

In mehreren Explorationen wird das Konzept mit Probanden evaluiert und auf Grundlage dieser Erkenntnisse weiterentwickelt. Sie zeigen, dass Nutzer taktile Reize als informationstragende Eindrücke interpretieren können und dass eine Wahrnehmung durch den Fuß ausreichend empfindlich und genau ist. Das Ergebnis der Konzeption ist eine modulare Bodenplatte, die taktile Reize durch Vibration in einzelnen Zonen erzeugt. Das neue System reagiert dabei adaptiv auf den Kontext, indem es Informationen bei Bedarf bereitstellt und nur spezifische Nutzer anspricht. Die Reize sind dynamisch und passen sich den zu vermittelnden Informationen an. Dazu werden die Eigenschaften, wie zum Beispiel Dringlichkeit, Wichtigkeit und Richtung, automatisch in Merkmale der Vibration übertragen. Das Konzept der taktilen Informationsvermittlung über den Boden zeigt Potenzial für eine Weiterentwicklung.

Abstract

Due to the increasing urbanization, cities should develop a broader understanding of their tasks in order to meet new requirements. However, there is a lack of future-proof systems for transmitting information to citizens in public spaces. By using digital technologies, cities can become more intelligent and can develop solutions.

The goal of this thesis is the conception and design of an adaptive system that conveys context-sensitive information in public spaces. As part of an assessment of the current situation, aspects from the fields of wayfinding, digital signage, perceptual psychology, sensory physiology and gait analysis are considered in order to develop requirements for such a system. The evaluation of already existing systems identifies their advantages and disadvantages. On this basis, a concept will be developed that adopts the basic principles of a guidance system for the blind. The new system

uses tactile stimuli and the ground as a transmission medium to convey information.

In several explorations the concept will be evaluated with test persons and further developed on the basis of these findings. They show that users can interpret tactile stimuli as information-carrying impressions and that perception by the foot is sufficiently sensitive and accurate. The result of the concept is a modular base plate that generates tactile sensations through vibration in individual zones. The new system reacts accordingly to its context by providing information on demand and addressing only specific users. The stimuli are dynamic and can adapt to the conveyed information. For this purpose, properties such as urgency, importance and direction are automatically translated into vibration characteristics. The transfer of tactile information via the ground shows potential for further development.

1 Einleitung	1.1 Motivation	12
	1.2 Ziel der Arbeit	14
	1.3 Aufbau der Arbeit	14
2 Urbanisierung	2.1 Städte als Lebensraum der Zukunft	18
	2.2 Smart City	20
	2.3 Fähigkeiten einer intelligenten Stadt	22
3 Informationsvermittlung im öffentlichen Raum	3.1 Öffentlicher Raum & Informationssysteme	29
	3.2 Signaletik	30
	3.3 Digital Signage	32
4 Grundlagen Wahrnehmungspsychologie und Sinnesphysiologie	4.1 Wahrnehmung	36
	4.2 Wahrnehmungskette	36
	4.3 Sinnesmodalitäten	38
	4.3.1 Sensibilität	39
	4.3.2 Vibrationswahrnehmung - Pallästhesie	39
	4.3.3 Tiefensensibilität - Propriozeption	40
	4.3.4 Empfindlichkeit	40
	4.4 Selektive Wahrnehmung	42
	4.4.1 Aufmerksamkeitsressource	42
	4.4.2 Erzeugen von Aufmerksamkeit	43
	4.5 Zusammenfassung	44
5 Grundlagen Ganganalyse		46

<h1>6</h1> <h2>Ausgangssituation</h2>	<ul style="list-style-type: none"> 6.1 Bestehende Informationssysteme im öffentlichen Raum 54 6.2 Anwendung taktiler Reize zur Informationsvermittlung 60
<h1>7</h1> <h2>Konzeption des neuen Informationssystems</h2>	<ul style="list-style-type: none"> 7.1 Konzeptionelle Ziele 66 7.2 Usecases 66 7.3 Explorationen 67 <ul style="list-style-type: none"> 7.3.1 Exploration 1 – Taktile Wahrnehmung von Füßen 69 7.3.2 Exploration 2 – Auswahl eines Vibrationsmotors 80 7.3.3 Exploration 3 – Subjektives Empfinden von Vibrationen 82 7.4 Aufbau und Konzept 84 <ul style="list-style-type: none"> 7.4.1 Modulation der Vibration 84 7.4.2 Informationstyp 92
<h1>8</h1> <h2>Technische Umsetzung des neuen Informationssystems</h2>	<ul style="list-style-type: none"> 8.1 Bodenplatte 102 <ul style="list-style-type: none"> 8.1.1 Grundaufbau 102 8.1.2 Erzeugung der taktilen Reize 106 8.1.3 Schwingungsdämpfung 108 8.1.4 Nutzererkennung 109 8.2 Steuerungszentrale 110 <ul style="list-style-type: none"> 8.2.1 Aufgaben 110 8.2.2 Kommunikation 113 8.2.3 Grafische Oberfläche 115 8.2.4 Micro- und Macrocontrolling 116
<h1>9</h1> <h2>Fazit & Ausblick</h2>	<ul style="list-style-type: none"> Fazit & Ausblick 118
	<ul style="list-style-type: none"> Anhang 122

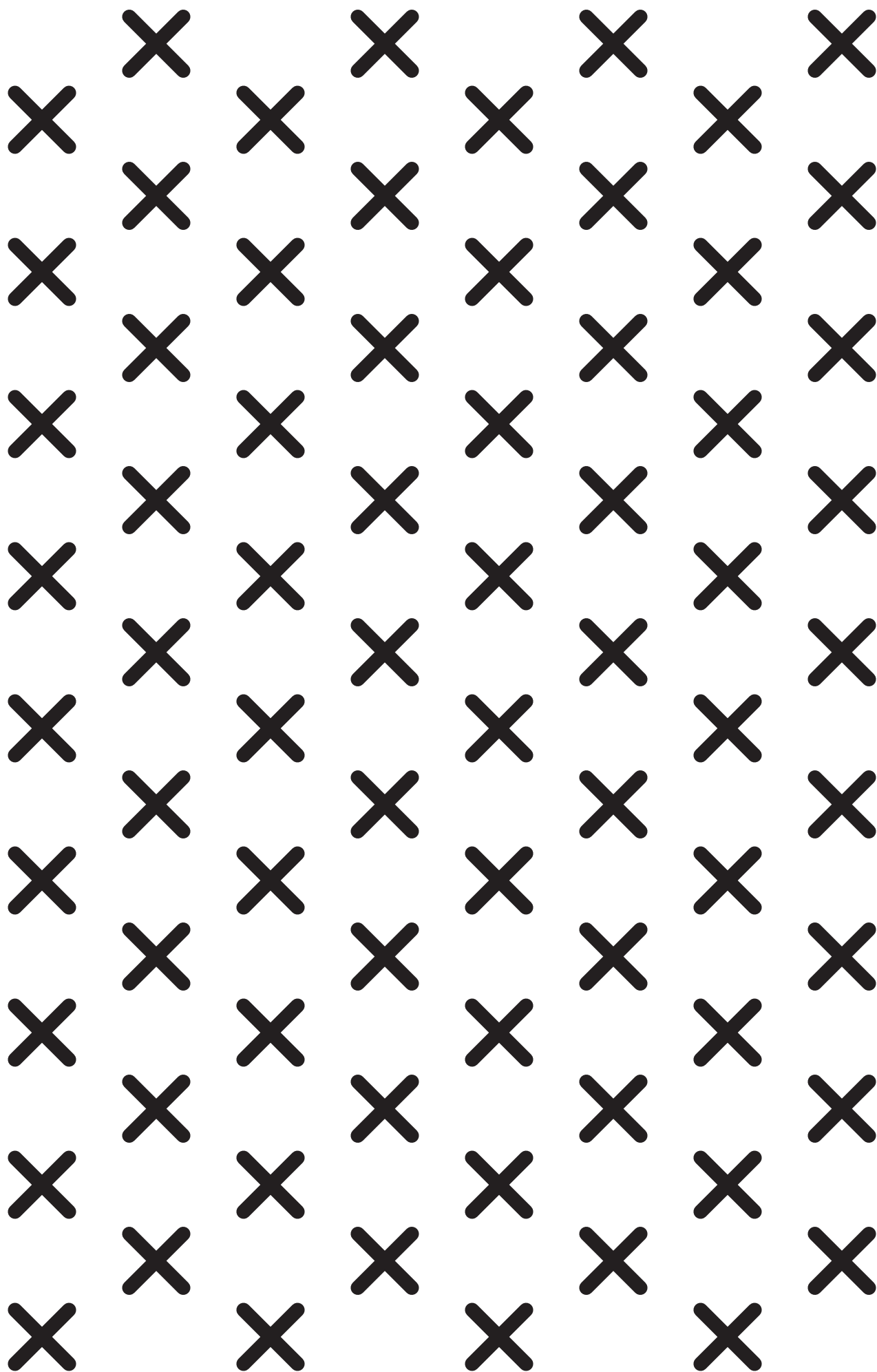
Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Markierung einer Treppe durch einen farblichen Streifen	13
Abb. 2	Darstellung der typischen Verstädterungsentwicklung in der Schweiz und Costa Rica	18
Abb. 3	Rangliste des IMD Smart City Index 2019	21
Abb. 4	Visualisierung der Bewegungsmuster in einem Bahnhof durch WiFi-Daten	23
Abb. 5	Öffentlich zugänglicher Bereich in Hamburg	28
Abb. 6	Schild zur Verkehrsführung	30
Abb. 7	Verkehrsspiegel zur Verbesserung der Sichtverhältnisse	30
Abb. 8	Leitsystem zur Orientierung	31
Abb. 9	Digitale Anzeigetafel zur Darstellung von Werbung	33
Abb. 10	Darstellung der Wahrnehmungskette als sich wiederholender Kreisablauf	37
Abb. 11	Übersicht der haptischen Wahrnehmung	38
Abb. 12	Visualisierung der rezeptiven Felder einer Hand	41
Abb. 13	Verkehrsampel als Informationssystem	43
Abb. 14	Darstellung des menschlichen Gangs	48
Abb. 15	Darstellung der Kategorisierung bestehender Informationssysteme	55
Abb. 16	Einzeldarstellung der Kategorisierung bestehender Informationssysteme	56
Abb. 18	Unterschiedliche taktile Bodenelemente	61
Abb. 17	Nahaufnahme eines Blindenleitsystems	61
Abb. 19	Blindenleitsystem zur Markierung einer Bushaltestelle	61
Abb. 20	Blindenleitsystem zur Markierung einer Verkehrsampel	62
Abb. 21	Proband während der Exploration 1	68
Abb. 22	Kontaktflächen der einzelnen Versuchsdurchgänge	69
Abb. 24	Anzeige der Stromstärke	71
Abb. 25	Software zur Konfiguration der Vibrationsmuster	71
Abb. 23	Innenansicht der Bodenplatte	71
Abb. 26	Darstellung der Messergebnisse zur Empfindlichkeit auf einzelnen Zonen	72
Abb. 27	Referenzmessung mit der Hand	73
Abb. 28	Anteil erfolgreich wahrgenommener Muster	75

Abb. 29	Anteil erfolgreich wahrgenommener Animationen	76
Abb. 30	Durchführung des zweiten Teilversuchs	79
Abb. 31	Verschiedene Motoren während der Evaluation	81
Abb. 32	Vibrationsmotor mit verstellbarer Schwungmasse	81
Abb. 33	Durchführung der Exploration 3 mit einem Fuß	82
Abb. 34	Visualisierung der Vibrationsstärke	85
Abb. 35	Visualisierung der Vibrationsamplitude	86
Abb. 36	Visualisierung der Begrenzung minimaler und maximaler Vibrationsstärke	86
Abb. 37	Visualisierung der Vibrationsfrequenz	87
Abb. 38	Darstellung der Richtungsvermittlung durch die Aktivierung einzelner Zonen	89
Abb. 39	Markierung eines nicht zu betretenden Bahnsteigbereichs	93
Abb. 40	Versuchsaufbau der Explorationen 1 und 3	94
Abb. 41	Außenansicht der Bodenplatte	98
Abb. 42	Aufbau des neuen Informationssystems als schematische Darstellung	99
Abb. 43	Nutzer steht auf der Bodenplatte	100
Abb. 45	Zwei zusammengeschlossene Kacheln	101
Abb. 44	Magnetische Steckverbindung	101
Abb. 46	Einzelne Kachel mit zwei taktilen Zonen	102
Abb. 47	Schema der modularen Steckverbindung einzelner Kacheln	103
Abb. 48	Innenansicht einer Kachel	104
Abb. 49	Montierte Kontaktfläche	105
Abb. 50	Vibrationsmotor an der Unterseite der Kontaktfläche	107
Abb. 51	Montierter Gummi-Metall-Puffer	108
Abb. 52	Darstellung der Nutzererkennung durch die Auswertung von Gewichtsdaten	109
Abb. 53	Steuerungssoftware auf einem Laptop während der Nutzung	111
Abb. 54	Channel-Struktur der MQTT-Kommunikation	112
Abb. 55	Grafische Oberfläche der Steuerungszentrale	115

1

Einleitung



1.1 Motivation

Im öffentlichen Raum sind täglich eine Vielzahl an Informationen verfügbar, jedoch ist nur ein Bruchteil davon für eine Person relevant. Menschen bewegen sich mit einem spezifischen Ziel und fokussieren ihre Aufmerksamkeit auf die für sie relevanten Sinneseindrücke. Diese werden jedoch von anderen Reizen überlagert: Werbetafeln verlangen nach Aufmerksamkeit, Schilder weisen den Weg, Ampeln gebieten zum Halten. Solche Systeme stellen ihre Informationen dauerhaft dar, unabhängig von ihrer Relevanz in der aktuellen Situation oder der Signifikanz für den einzelnen Menschen. Weil jeder Anwesende zu jedem Zeitpunkt angesprochen wird, muss die Vielzahl der Reize selbstständig gefiltert werden. Dabei besteht die Möglichkeit, dass relevante Informationen überlagert werden.

Zum Beispiel birgt eine Treppe ein Gefahrenpotenzial. Wenn eine Person diese übersieht und ihr keine ausreichende Aufmerksamkeit schenkt, kann sie stürzen und sich unter Umständen verletzen. Um das zu verhindern, gibt es vor Treppen gelbe Stufenmarkierungen nach DIN 18040. (vgl. DIN 18040-1: 2010-10, 2010, o. S.) Sie kann zwar die Auffälligkeit der Stufe erhöhen, jedoch muss der Nutzer ¹ eine aktive

Wahrnehmungsleistung erbringen, indem er den Blick auf den Boden richtet, die Warnung erkennt und die Stufe als Gefahr identifiziert. Diese Art der Problemlösung verlässt sich auf die aktive Wahrnehmungsfähigkeit des Nutzers.

Ein kontextsensitives Informationssystem könnte die Gefahr, die von der Treppe ausgeht, antizipieren und den Nutzer aktiv warnen, falls er sie tatsächlich übersehen würde. Die Idee setzt eine intelligente Infrastruktur voraus, in der sich die Elemente einer Stadt durch Sensorik ihrer Umgebung, der Nutzer und ihres Kontextes bewusst sind. In diesem Szenario können Situationen identifiziert, vorhergesagt und die Bürger in ihrem Alltag unterstützt werden. Die dafür notwendigen Technologien werden bereits unter den Begriffen Big Data (vgl. Brockhaus, Big Data, o. J., o. S.), Machine Learning oder Computer Vision erforscht und entwickelt.

Es stellt sich die Frage, wie die konkrete Konzeption und Gestaltung eines neuen Informationssystems aussehen kann, mit dem sich Informationen adaptiv und kontextsensitiv an die Bürger einer Stadt vermitteln lassen.

¹ In dieser Arbeit wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit die Sprachform des generischen Maskulins angewandt. Dieses ist im Sinne der sprachlichen Vereinfachung als geschlechtsneutral zu verstehen.



Abb. 1 Markierung einer Treppe durch einen farblichen Streifen

1.2 Ziel der Arbeit

Urbane Lebensräume werden zunehmend digitalisiert. Städte können mehr und mehr ihre Umgebung wahrnehmen und Daten sammeln. Jedoch sind die bereitstehenden Informationssysteme im öffentlichen Raum seit Jahren nicht dynamisch und nur wenig digitalisiert. Die meisten basieren auf der statischen Darstellung von visuellen Daten. Dabei konkurrieren diverse optische Reize um die Aufmerksamkeit des Nutzers. Andere Sinnesmodalitäten werden in diesen Prozess kaum eingebunden.

Eine Verbesserung verspricht das Konzept einer Smart City, bei dem eine Stadt durch den Einsatz von digitalen Technologien bereichert wird.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Frage, wie Städte mit Menschen im öffentlichen Raum kommunizieren können. Dazu wird ein Informationssystem konzipiert, das adaptiv und kontextsensitiv Informationen vermittelt. Die Übertragung soll privat und gerichtet an einzelne Nutzer erfolgen können, sodass die Reize ohne Vorwissen interpretierbar sind. Im Speziellen wird untersucht, inwiefern sich der Boden als Übertragungsmedium von taktilen Reizen eignet und wie dadurch Informationen vermittelt werden können. Das neue System wird im Rahmen von Probanden gestützten Untersuchungen betrachtet und prototypisch umgesetzt.

1.3 Aufbau der Arbeit

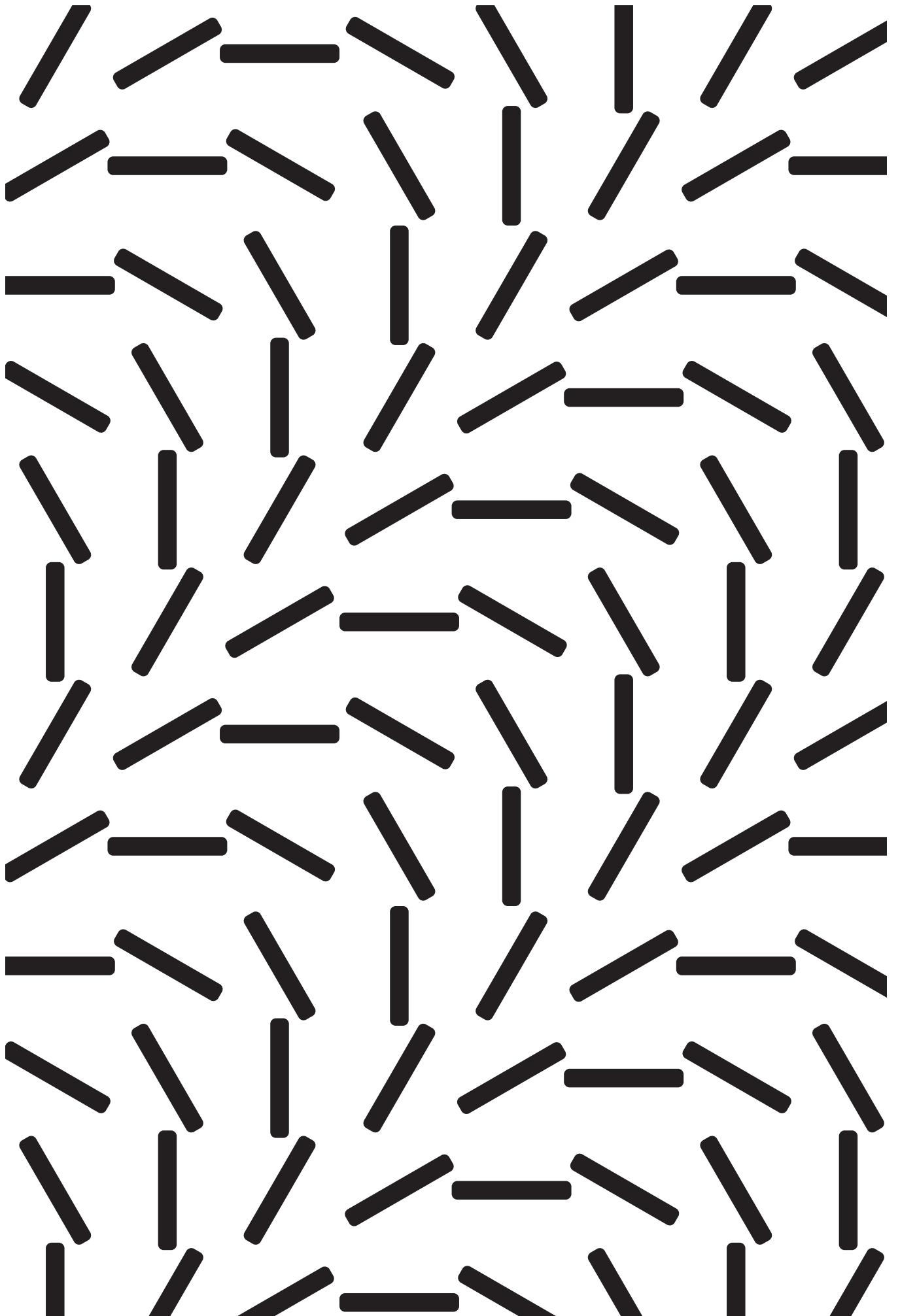
Zu Beginn der Arbeit werden die aktuellen Herausforderungen von Städten und die Entwicklung urbaner Lebensräume betrachtet. Es wird Smart City als mögliche Lösung vorgestellt und deren Voraussetzungen diskutiert. Daraus leitet sich die Betrachtung von bestehenden Informationssystemen im öffentlichen Raum ab. Im Folgenden werden Grundlagen der

Wahrnehmungspsychologie, Sinnesphysiologie sowie der Physiologie des Ganges vorgestellt. Aufbauend auf diese Erkenntnisse werden drei Explorationen durchgeführt, sowie das Konzept ausformuliert. Danach wird die Umsetzung des Systems dargestellt und diskutiert. Dabei werden ein Ausblick sowie weitere mögliche Schritte aufgezeigt.



2

Urbanisierung



2.1 Städte als Lebensraum der Zukunft

„Städte sind der Lebensraum der Zukunft.“ (Gassmann, Böhm u. Palmié, 2018, S. 3) Im Jahr 2050 werden 70 % der Weltbevölkerung in Städten leben (vgl. Gassmann, et al., 2018, S. 4). Diese rapide Entwicklung stellt neue Herausforderungen an die urbanen Lebensräume und erzeugt einen starken Druck. Alle Teile des öffentlichen Lebens sind betroffen.

Eine Überlastung der Infrastruktur ist zu beobachten. In Moskau benötigen Autofahrer nach dem TomTom Congestion Index in den Abendstunden 108 % mehr Zeit, um ihr Ziel zu erreichen (vgl. TomTom, 2019, o. S.). Städte konsumieren 70 % des Energiebedarfs weltweit. Die fortschreitende Elektromobilität wird einen weiteren Anstieg zur Folge haben. Laut Experten muss mindestens eine sechsfach höhere Investition als bisher getätigt werden, um den Anforderungen zu entsprechen. Durch den Einsatz intelligenter Ladesteuerungen kann dieser Wert aber auf das Doppelte reduziert werden (vgl. Gassmann, et al., 2018, S. 11).

Ein weiterer Aspekt sind die gesundheitlichen Herausforderungen, denen sich Städte stellen müssen. So haben Smog und Lärm einen deutlich messbaren Effekt auf die Lebensqualität der Stadtbewohner (vgl. WHO Regional Office for Europe, 2009, S. 96). In Luxemburg sind 32,7 % aller Menschen Nachtlärm ausgesetzt (vgl. European Environment Agency, 2014, S. 24), der die Grenzwerte der World Health Organisation (vgl. WHO Regional Office for Europe, 2018, S. 34) überschreitet.

Abb. 2 Darstellung der typischen Verstädterungsentwicklung in der Schweiz und Costa Rica
Nach Gassmann, Böhm u. Palmié, 2018, S. 6

100

Prozentualer Anteil der Stadtbevölkerung

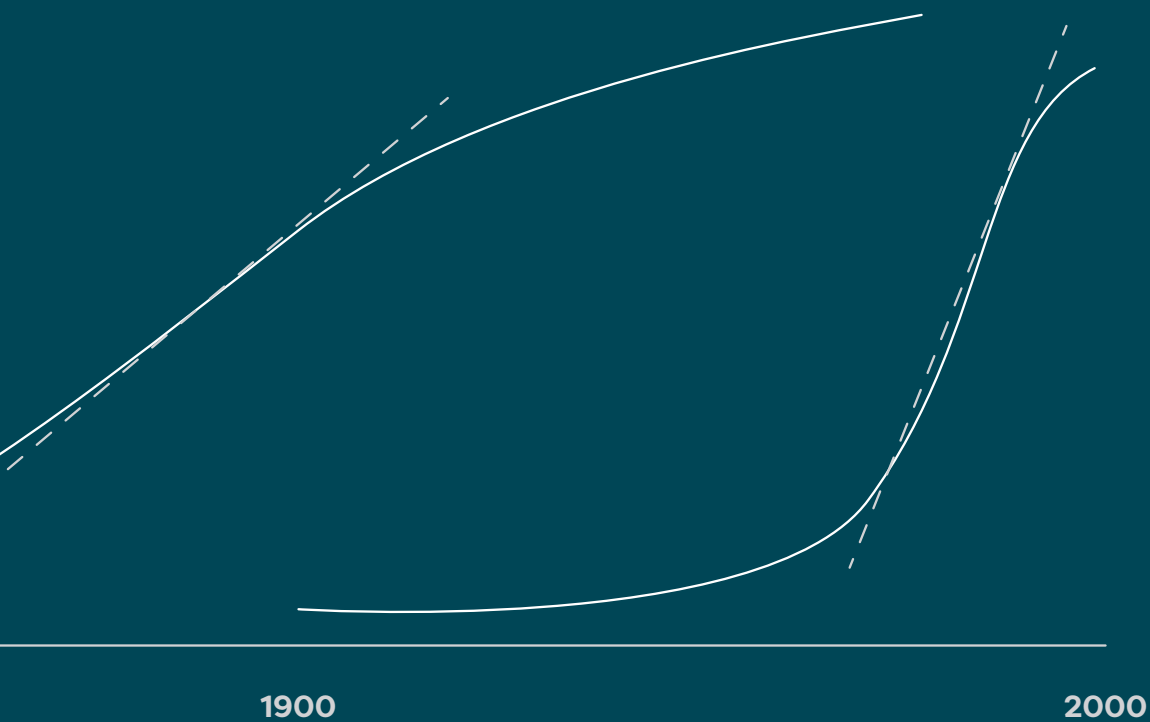
0

1800

Schweiz
Verstädterungskurve
eines westlichen Landes

Da in westlichen Ländern Urbanisierung schon seit Jahren stattfindet und sich weiter verstärkt, sind teilweise schon Maßnahmen etabliert worden, um der Entwicklung gerecht zu werden (vgl. Gassmann, et al., 2018, S.5). Im Gegensatz dazu zeigt sich in nicht westlichen Ländern eine explosionsartige Verschiebung der gesellschaftlichen Strukturen. In wenigen Jahren überholt der Anteil der Stadtbevölkerung die der Landbevölkerung deutlich (vgl. Gassmann, et al., 2018, S. 6).

Für die Weiterentwicklung der urbanen Lebensräume sind neue Konzepte und Technologien entscheidend. Es stellt sich die Frage, „wie können Städtebau und Design - in einem sehr umfassenden Sinne - die Lebensqualität von Städten positiv beeinflussen?“ (Caeners, Eisinger, Gurr u. Schmidt, 2013, S. 9).



Costa Rica
Verstädterungskurve
eines nicht westlichen
Landes

2.2 Smart City

Angesichts der Entwicklungen ist die Rolle der Stadt zu klären, die sie in der Zukunft einnehmen soll. Wie viel Einfluss darf sie auf das tägliche Leben ihrer Bewohner nehmen? Gehen ihre Aufgaben über die reine Bereitstellung grundlegender Infrastruktur hinaus (vgl. Gassmann, et al., 2018, S. 18)?

Nach deutschem Verwaltungsrecht ist es die Aufgabe einer Stadt, Daseinsvorsorge zu leisten (vgl. Brockhaus, Daseinsvorsorge, o. J., o. S.). Dies umfasst alle „Bedürfnisse und Interessen, die in der örtlichen Gemeinschaft wurzeln oder auf sie einen spezifischen Bezug haben“ (vgl. BVerfG, 1988, Abs. 63c). Unter anderem gehören dazu eine verlässliche Energie- und Wasserversorgung, eine Verkehrssteuerung und die Gewährleistung der öffentlichen Sicherheit. Die Stadt der Zukunft muss ihr Aufgabenverständnis um die Bereitstellung und Anreicherung von Leistungen, die neue Lebensqualität schaffen, erweitern (vgl. Lauzi, 2019, S. 10).

In diesem Zusammenhang wird häufig von Smart City gesprochen. Damit werden Konzepte und Technologien zur Digitalisierung von Städten beschrieben (vgl. Dameri, 2017, S. 4-6). Eine einheitliche Definition existiert derzeit nicht, da dieser Begriff in verschiedenen Kontexten zum Einsatz kommt (vgl. Negre u. Rosenthal-Sabroux, 2014, S. 103). Die hier

betrachtete Ausprägung sieht Smart City als eine Kombination verschiedener Maßnahmen auf kommunaler Ebene zur Verbesserung des Lebensstandards (vgl. Brockhaus, Smart City, o. J., o. S.). Der Einsatz digitaler Technologien wird dabei nicht nur ein Werkzeug zur Problemlösung der neuen Herausforderungen sein, sondern soll vor allem ein neues Aufgabenverständnis für zukunftsfähiges Handeln ermöglichen.

Nach der Smart City Charta des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit stellt eine intelligente Stadt die „Bedarfe des Menschen in den Mittelpunkt des Handelns“ (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, 2017, S. 9) und nutzt „Sensorik, Datengewinnung und -verarbeitung, neue Formen der Interaktion und des Lernens zur stetigen Verbesserung kommunaler Prozesse und Dienstleistungen“ (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, 2017, S. 9). Deutschland steht noch am Anfang der Transformation. In den Top 30 des IMD Smart City Index 2019 (vgl. IMD World Competitiveness Center, 2019, S. 8f) sind nur zwei deutsche Städte vertreten. Keine davon konnte eine Bestnote, AA bzw. AAA, erzielen. Vor allem aufstrebende nicht westliche Städte wie Singapur führen schon lange diese Tabelle an (vgl. IMD World Competitiveness Center, 2019, S. 181f).

Rang	Stadt	Bewertung	Rang	Stadt	Bewertung
1.	Singapore	AAA	16.	Montreal	A
2.	Zurich	AAA	17.	Vienna	BBB
3.	Oslo	AA	18.	Bologna	BBB
4.	Geneva	AA	19.	Prague	BBB
5.	Copenhagen	AA	20.	London	BBB
6.	Auckland	A	21.	Madrid	BBB
7.	Taipei City	A	22.	Milan	BBB
8.	Helsinki	A	23.	Lyon	BBB
9.	Bilbao	A	24.	Melbourne	BBB
10.	Düsseldorf	A	25.	Stockholm	BBB
11.	Amsterdam	A	26.	Hannover	BBB
12.	San Francisco	A	27.	Brisbane	BBB
13.	Vancouver	A	28.	Gothenburg	BBB
14.	Sydney	A	29.	The Hague	BBB
15.	Toronto	A	30.	Dublin	BBB

Abb. 3 Rangliste des IMD Smart City Index 2019
Nach IMD World Competitiveness Center, 2019, S. 8f

2.3 Fähigkeiten einer intelligenten Stadt

Eine Smart City geht von einem intelligenten System aus (vgl. Baccarne B., Mechant P. u. Schuurman D., 2014, S.159f). Intelligenz gilt hier vorrangig als die Fähigkeit, Situationen zu erkennen, zu interpretieren und entsprechend zu handeln. Eine Verkehrsampel mit einer variablen Schaltung ist ein Beispiel für ein intelligentes System. Sie kann auf aktuelle Situationen reagieren und entsprechend den Verkehrsfluss regeln: Die Linksabbieger-Schaltung ist erst dann aktiv, sobald sich auch ein Fahrzeug auf der Linksabbiegerspur befindet. Da die Ampel nur in einem eng definierten Funktionsumfang agieren kann, ist sie aber ein stark eingeschränktes System. Ob es sich bereits um eine Intelligenz nach der klassischen Definition handelt, ist fraglich. Damit ein System intelligent agieren kann, sollte es vier Fähigkeiten besitzen: Daten sammeln, diese auswerten, darauf basierend eine Entscheidung treffen und zielgerichtet eine Handlung ausführen. Die Vision ist es, eine Real-Time-City (vgl. Kitchin, 2013, S. 5-8) zu schaffen. Solch eine Stadt kann in Echtzeit Veränderungen wahrnehmen und entsprechend reagieren (vgl. MIT Senseable City Lab, o. J.).

Die Grundvoraussetzung einer intelligenten Stadt ist ihre digitale Abbildung, die durch das

Sammeln von Daten erreichbar ist. Dies wird als digitaler Schatten bezeichnet, eine digitale Repräsentation aller Teile einer Stadt (vgl. Gassmann, et al., 2018, S. 20). Das heißt, dass jeder Prozess und jede Leistung in digitalen Daten vorliegt. Dadurch erlangen intelligente Systeme eine Kontextsensitivität (auch Context awareness) und können ihr Verhalten auf die Umgebung abstimmen (vgl. Abowd, et al., 1999, S. 305f).

Diverse Sensorik ermöglicht das Sammeln der Daten. Dies kann durch explizit für den Anwendungsfall entwickelte Sensoren oder die Nutzung von bereits bestehender Infrastruktur erfolgen. So hat das MIT Senseable city lab im Rahmen ihres AI Station Projektes auf Grundlage von WiFi-Daten die Bewegungsmuster von Nutzern ableiten können (vgl. MIT Senseable City Lab, 2019, o. S.). Derzeit gelten Videoüberwachungssysteme vorrangig als Werkzeug für das Erreichen eines abstrakten Sicherheitsgefühls. Es wird reaktiv eingesetzt und Nutzer profitieren nur indirekt von dieser Technologie. Die gesammelten Daten bieten jedoch ein großes Potenzial, das über den Einsatz als Mittel zur Verbrechensbekämpfung hinausgeht.

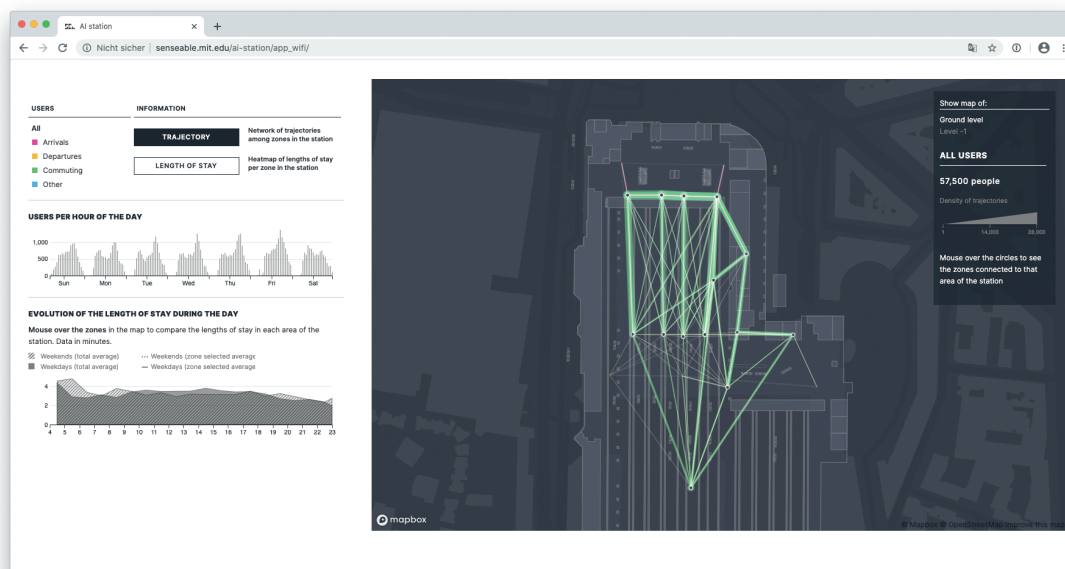
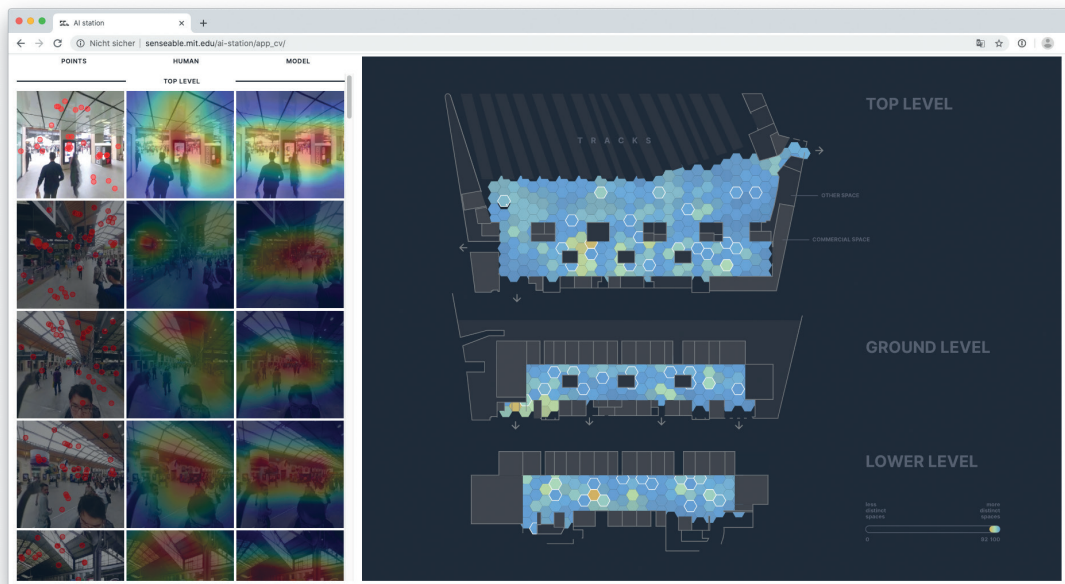


Abb. 4 Visualisierung der Bewegungsmuster in einem Bahnhof durch WiFi-Daten
MIT Senseable City Lab, 2019, o. S.

Forscher der University of British Columbia konnten aus den Daten von bestehenden Videoüberwachungssystemen unterschiedliche Verhaltensmuster von Fußgängern im Straßenverkehr vollständig automatisiert identifizieren (vgl. Sayed, Zaki u. Tageldin, 2016, S. 34f). Eine Unaufmerksamkeit des Nutzers konnte mit einer 87-prozentigen Genauigkeit erkannt werden (vgl. Sayed, et al., 2016, S. 36). Ebenso erfasst das System Fehlverhalten, wie zum Beispiel das Überqueren einer Ampel bei Rot oder an einer nicht dafür ausgewiesenen Stelle (vgl. Sayed, et al., 2016, S. 38).

Das Sammeln von Daten im öffentlichen Raum ist nicht unumstritten. Vor allem der Einsatz von Videoüberwachung stellt ein Eindringen in die Privatsphäre der Bürger dar. Hier gilt es die Vor- und Nachteile der Schaffung eines umfassenden digitalen Schattens zu diskutieren. Die Fragestellung kann im Rahmen dieser Arbeit jedoch nicht umfassender betrachtet werden.

Neben dem reinen Sammeln der Daten muss eine intelligente Stadt diese auswerten. Im Mittelpunkt stehen die Technologien des

maschinellen Sehens (vgl. Loy, 2020, S. 38). Das sind Verfahren, die es Computern ermöglicht, visuelle Informationen aufzuarbeiten und die gezeigten Inhalte zu verstehen.

Auf dieser Grundlage handelt das System. Dazu kann es interne Mechanismen oder eine Person direkt beeinflussen, was eine neue Herausforderung darstellt. Das Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines kontextsensitiven Informationssystems für den öffentlichen Raum.

Derzeit werden bereits grundlegende Infrastrukturen geschaffen, die eine weitere Digitalisierung erlauben. So hat die Stadt Osnabrück mit der Adaption der LoRaWAN-Technologie eine energieeffiziente, digitale Funkinfrastruktur eingerichtet, die es ermöglicht, alltägliche Gegenstände wie einen Mülleimer oder Straßenlaternen miteinander zu vernetzen und zu digitalisieren (vgl. Stadtwerke Osnabrück, 2019). Solche Initiativen bilden die Grundvoraussetzungen für die Anreicherung von öffentlichen Räumen.



3

Informations- vermittlung im öffentlichen Raum

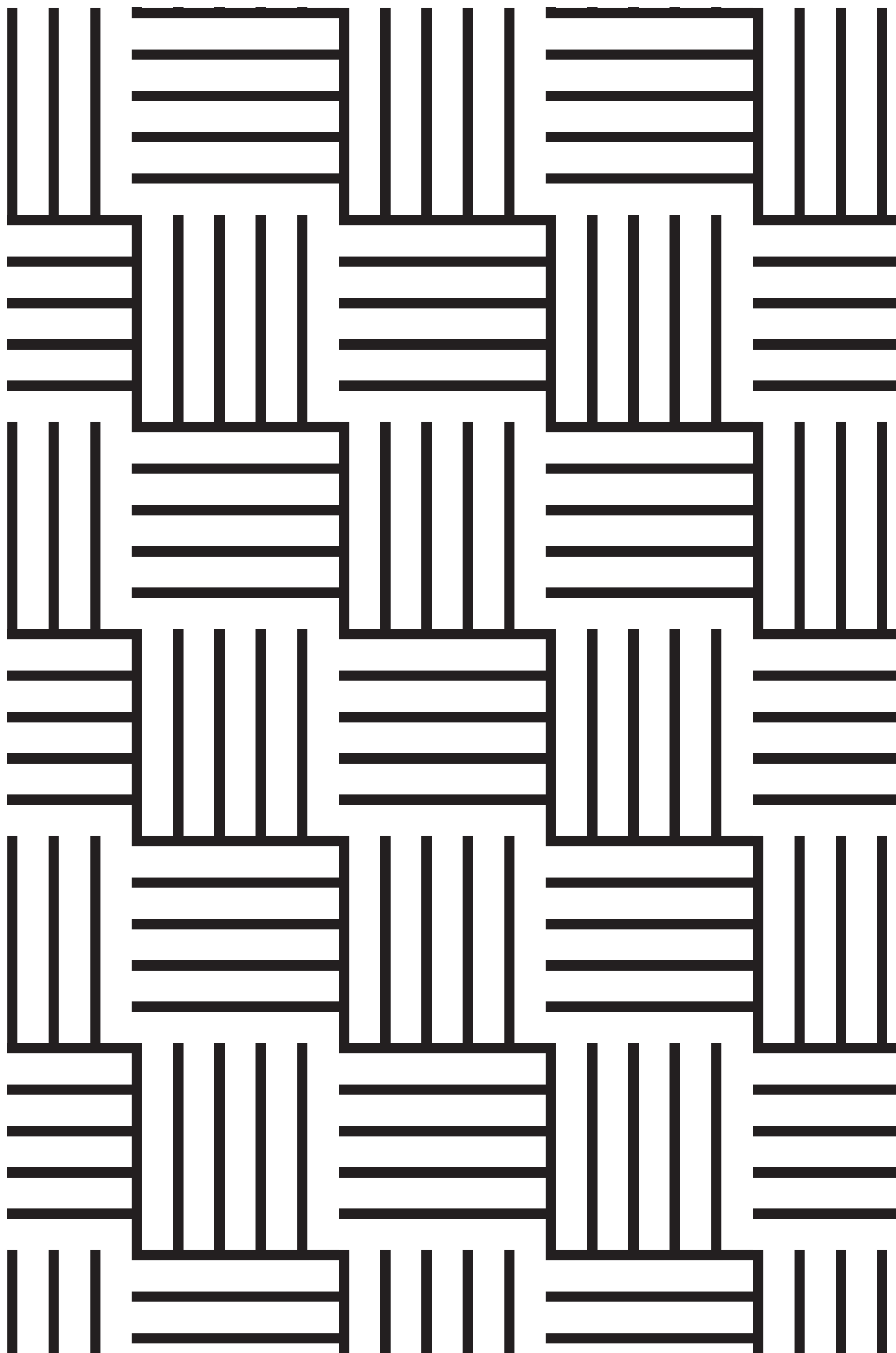




Abb. 5 Öffentlich zugänglicher Bereich in Hamburg

3.1 Öffentlicher Raum & Informationssysteme

Der öffentliche Raum ist ein der „Öffentlichkeit zugängliche[r] Bereich, einer Körperschaft des öffentlichen Rechts (Gemeinde, Land, Staat)“ (Brockhaus, öffentlicher Raum, o. J., o. S.). Nach dieser rechtlichen Definition muss er Teil einer öffentlichen Institution sein, um als öffentlicher Raum angesehen zu werden.

Durch die zunehmende Urbanisierung verschiebt sich das Verständnis von öffentlichen Räumen (vgl. Brendgens, 2005, S. 1088f). Ein Großteil der von der Bevölkerung genutzten Bereiche sind öffentlich zugänglich, aber in privatem Besitz und fallen somit nach rechtlicher Definition unter den teil-öffentlichen beziehungsweise privaten Raum. Sie werden auch als „privately influenced public spaces“ (Pegels, 2010, S.78) bezeichnet. So ist ein Einkaufszentrum ein für jeden zugänglicher Ort, aber in privatem Besitz.

Im Folgenden wird auf die rechtliche Definition verzichtet und der öffentliche Raum als jeglicher Raum festgelegt, der einer allgemeinen Öffentlichkeit zugänglich ist. Solche Bereiche werden von einer Vielzahl von Personen

genutzt, die dabei sehr unterschiedliche Intentionen und Ziele haben. Es handelt sich um eine diffuse Zielgruppe, die einen breiten Schnitt der Gesellschaft repräsentiert. Gemeinsame Eigenschaften können nur schwer identifiziert werden. Daher unterliegt die Informationsvermittlung in diesen Räumen besonderen Anforderungen. Es muss nicht nur der Nutzer, sondern vor allem der Kontext der Vermittlung betrachtet werden.

Um Informationen bereitzustellen, werden Informationssysteme eingesetzt. Im Bereich der Wirtschaftsinformatik wird der Begriff, „insbes. dann verwendet [wird], wenn (was häufig der Fall ist) der Informationszweck [...] im Vordergrund steht und Kommunikation Mittel zum Zweck ist“ (Heinrich, Heinze u. Riedl, 2005, S. 325). Das im Rahmen dieser Arbeit zu entwickelnde System dient der Bereitstellung von Informationen im öffentlichen Raum. Es wird keine spezifische Nutzergruppe in den Fokus der Konzeption gestellt. Prinzipien aus den Bereichen der Signaletik sowie des Digital Signage werden aufgegriffen und eingesetzt.

3.2 Signaletik

Die Signaletik beschäftigt sich mit der Schaffung von Leitsystemen. Diese ermöglichen eine räumliche Orientierung in komplexen Arealen, wie zum Beispiel Flughäfen oder Bahnhöfen (vgl. Uebele, 2008, S. 426). Sie vermitteln Informationen und machen sie dem Nutzer zugänglich. Es gibt keine verbindlichen Standards für Leitsysteme, jedoch können aus den Anforderungen und Erkenntnissen der Signaletik verschiedene Ableitungen für das zu schaffende System geschlossen werden (vgl. Uebele, 2008, S. 428).

Wichtigste Eigenschaft eines funktionalen Leitsystems ist eine schnelle Verständlichkeit. Nutzer sollen in der Lage sein, die für sie

relevanten Informationen zuverlässig erfassen zu können. Um das zu gewährleisten, müssen diverse Aspekte erfüllt sein. Patrick Wenzel spricht dabei von „Klarheit, Eindeutigkeit, Logik, Zuverlässigkeit und Beschränkung auf das Wesentliche“ (2003, S. 34). Wichtig ist, dass Leitinformationen von anderen Reizen in der Umgebung deutlich hervorgehoben sind, ohne als störend empfunden zu werden (vgl. Wenzel, 2003, S. 25). Das Ziel ist die Aufmerksamkeits-erzeugung. Jedoch sind die Nutzer nur in einem begrenzten Rahmen in der Lage, Informationen wahrzunehmen und zu verarbeiten. Aus diesem Grund sollte die Gesamtzahl der Einzelinformationen auf ein Minimum reduziert werden (vgl. Wenzel, 2003, S.25).



Abb. 6 Schild zur Verkehrsführung



Abb. 7 Verkehrsspiegel zur Verbesserung der Sichtverhältnisse



Abb. 8 Leitsystem zur Orientierung

Außerdem müssen Informationen bedarfsgerecht am richtigen Ort vermittelt werden. Vorrangig sollten sie an Entscheidungspunkten zur Verfügung stehen (vgl. Wenzel, 2003, S.26). Dadurch sind Nutzer in der Lage, einen mentalen Zusammenhang zwischen Zeichen und Kontext herzustellen, was die Einordnung des Reizes erleichtert. Ebenso sollte das System ohne Vorwissen verständlich sein. Schon beim ersten Erfahren müssen Anwender die Logik und Reize des Systems erfassen und interpretieren können.

Leitsysteme verwenden vorrangig visuelle und auditive Medien. Das verbreitetste Mittel sind Schilder, die mit Piktogrammen oder Pfeilen beschriftet sind. Sie sprechen Nutzer nur durch ihre Gestaltung an und müssen erst als informationstragende Elemente identifiziert werden. Zeitgleich sind sie zumeist statisch und können nur gleichbleibende Daten tragen. Eine dynamische Darstellung von Informationen ist unmöglich.



3.3 Digital Signage

Bei Digital Signage geht es um den Gebrauch von digitalen Displays zur Darstellung von Informationen (vgl. Schaeffler, 2008, S. 39). Solche Systeme kommen vor allem für werbliche Zwecke zum Einsatz (vgl. Kaupp, 2010, S. 66). Jedoch werden sie vermehrt auch für nicht-kommerzielle Fälle, wie zum Beispiel elektronische Verkehrsschilder, verwendet (vgl. Kaupp, 2010, S. 91). Durch die Nutzung digitaler Anzeigetechnologien und zentraler Steuerung ist es möglich, dynamische Inhalte anzuzeigen und sogar interaktiv und kontextabhängig zu gestalten (vgl. Kaupp, 2010, S. 86).

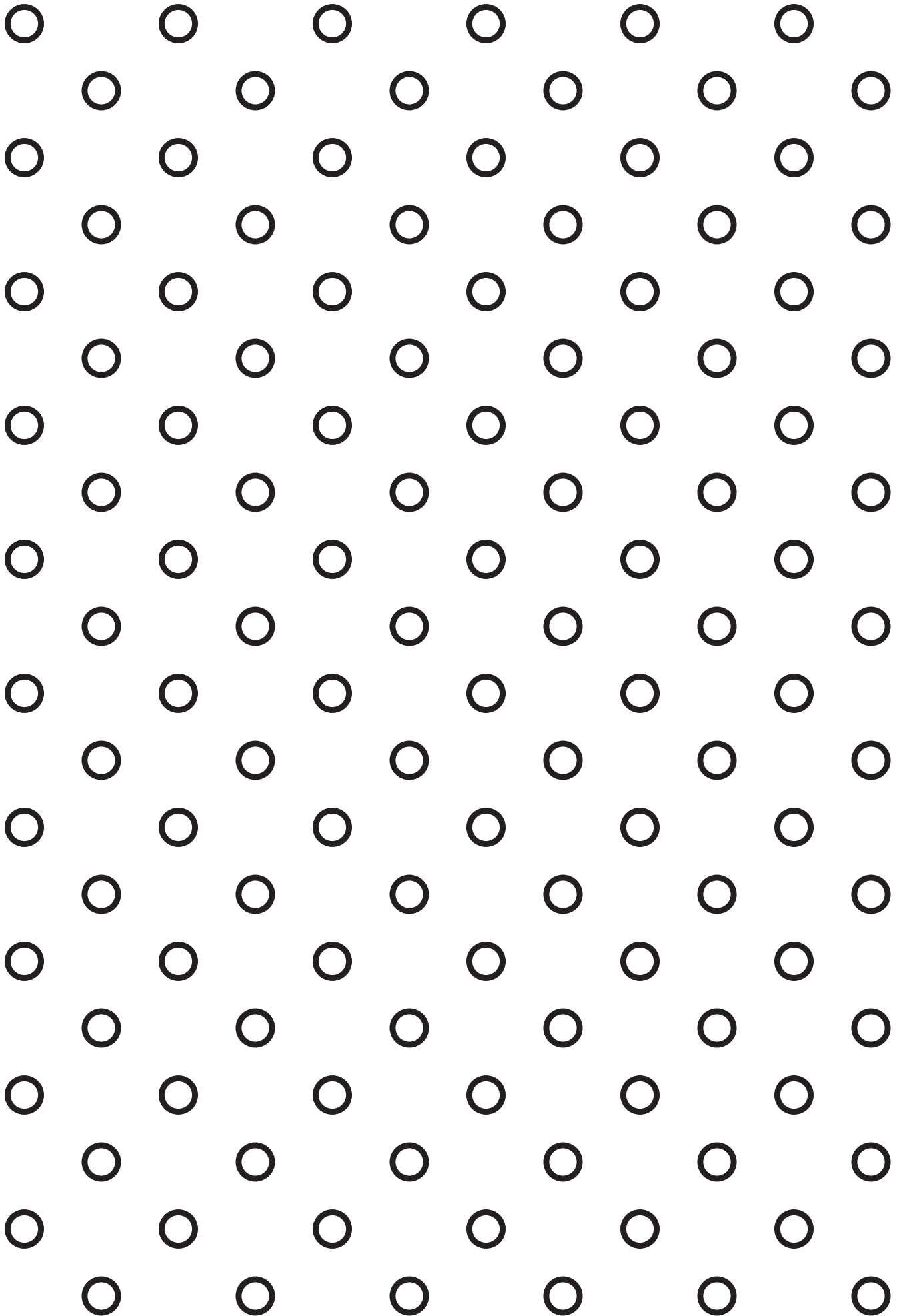
Im Rahmen dieser Arbeit soll ein System erarbeitet werden, dass die Lesbarkeit eines Leitsystems mit der Anpassbarkeit des Digital Signage kombiniert und sich dafür alternative Sinnesmodalitäten und Übertragungsmedien zunutze macht.



Abb. 9 Digitale Anzeigetafel zur Darstellung von Werbung

4

Grundlagen Wahrnehmungs- psychologie und Sinnesphysiologie



4.1 Wahrnehmung

Der Begriff Wahrnehmung beschreibt den Prozess eines Lebewesens zur Informationsgewinnung. Es ist die Fähigkeit, Umweltreize zu erkennen und zu verarbeiten. Verschiedene Teileindrücke werden kombiniert und zu einer subjektiven Wahrnehmung zusammengefasst (vgl. Ansorge u. Leder, 2017, S. 1-3). Der Prozess kann bewusst oder unterbewusst stattfinden und ist von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Die Wahrnehmungsqualität hängt zum

einen von der physiologischen Auflösung der Sinnesorgane ab. Zum anderen ist sie auch eng an die Aufmerksamkeit der Nutzer geknüpft (vgl. Ansorge u. Leder, 2017, S. 8). Diese zu beeinflussen ist Hauptbestandteil vieler Leitsysteme, indem sie durch Salienz, eine besonders starke Ansprache der Sinne (vgl. Ansorge u. Leder, 2017, S. 53), Aufmerksamkeit erzeugen.

4.2 Wahrnehmungskette

Nach dem Wahrnehmungsmodell von John Raymond Smythies: „causal chain of perception and action“ aus dem Jahr 1956 ist der Prozess der Wahrnehmung im Sinne einer Kette in sechs Glieder zu unterteilen (vgl. Toepfer, 2017, S. 28).

Die in der Umwelt befindlichen Objekte enthalten Informationen, die in Form von Reizen durch Rezeptoren registriert werden. In der Transduktion geschieht innerhalb einer Sinneszelle die Umwandlung des physikalischen Reizes in einen Nervenimpuls. Er wird durch

verschiedene Zellen im nachgelagerten Nervensystem verarbeitet. In der Wahrnehmung erfolgt die Bewusstmachung des Reizes. Das elektronische Signal ist als Ton, Licht, Vibration, etc. interpretierbar. Der Reiz wird wiedererkannt und mit anderen Informationen aus dem Gedächtnis assoziiert. Schlussendlich erfolgt auf den Reiz eine Reaktion in Form einer Handlung. Sie ist nicht unmittelbar bewusst, sondern kann auch eine autonome Reaktion des Menschen sein (vgl. Toepfer, 2017, S. 28ff).

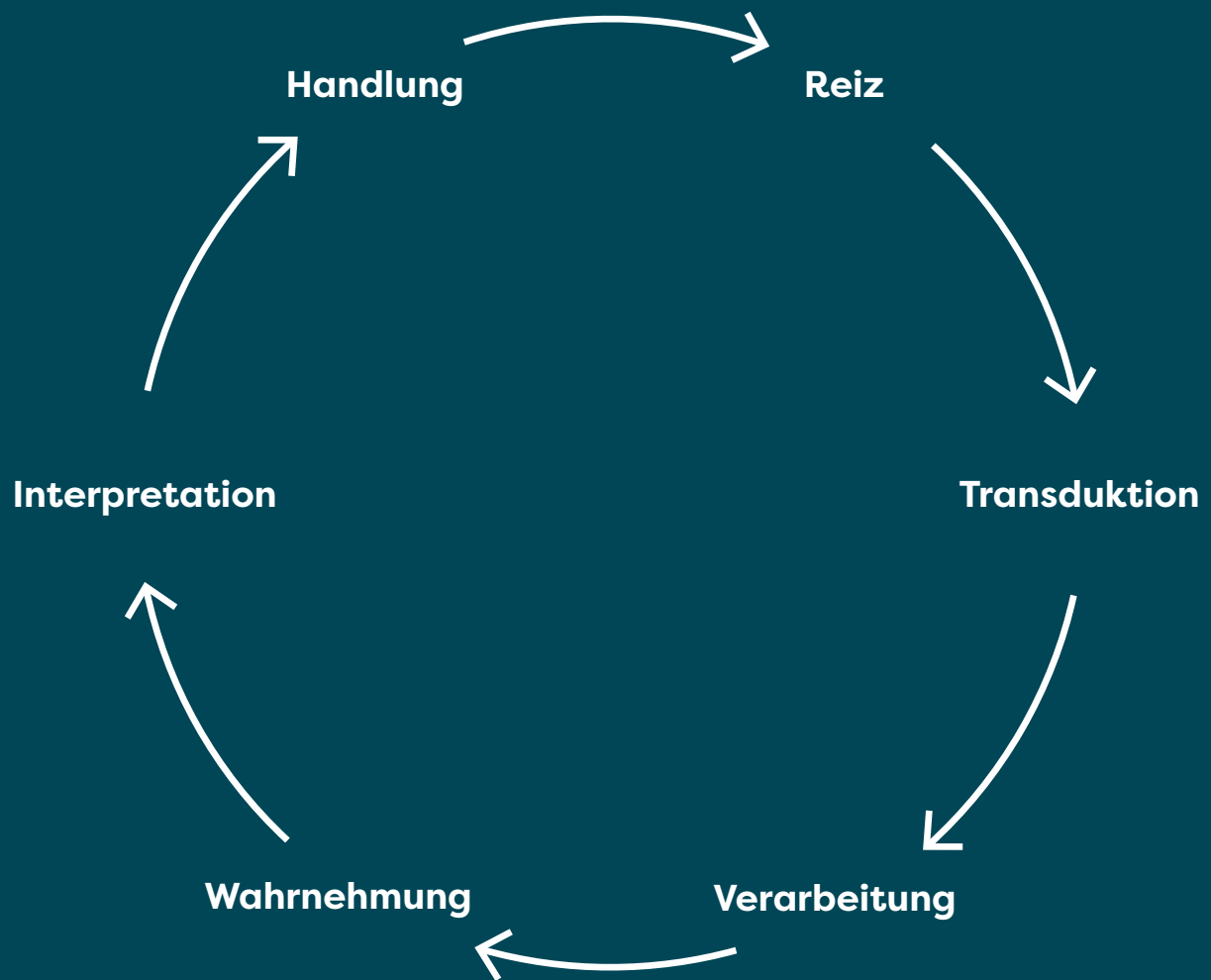


Abb. 10 Darstellung der Wahrnehmungskette als sich wiederholender Kreisablauf
Nach Toepfer, 2017, S. 25

Haptische Wahrnehmung

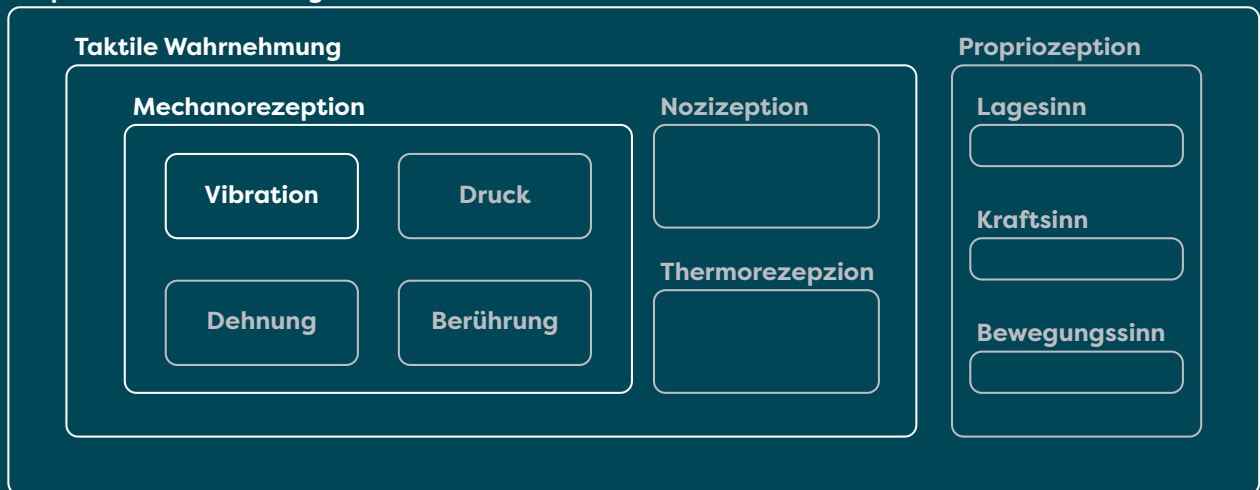


Abb. 11 Übersicht der haptischen Wahrnehmung

4.3 Sinnesmodalitäten

Der Mensch besitzt mehrere Möglichkeiten der Wahrnehmung: auditiv (hören), visuell (sehen), olfaktorisch (riechen), gustatorisch (schmecken) und taktil (tasten). Diese klassischen Sinne werden in der modernen Psychologie noch um den Temperatursinn, die Schmerzempfindung, den Gleichgewichtssinn sowie die Körperempfindung ergänzt. Der Mensch verfügt noch über weitere unbewusste sensorische Fähigkeiten, wie Blutdruck-Rezeptoren (vgl. Frings u. Müller, 2019, S. 12).

Menschliche Sinne nutzen Sensoren, die auf vier verschiedene Reize reagieren: mechanische Deformation, Änderung in der Temperatur, chemische Reize sowie Photonen (vgl. Handwerker, 2006, S. 187). Durch den Einsatz der Sensoren ist es einer Person möglich Informationen aufzunehmen. Die Grundtypen der Empfindung werden als Sinnesmodalität bezeichnet (vgl. Handwerker, 2006, S. 182).

4.3.1 Sensibilität

Sensibilität bezeichnet jegliche Wahrnehmung von Reizen, die nicht in Form von spezifischen Organen, sondern in freien Nervenzellen erfolgen. Umgangssprachlich wird dies auch Tastsinn, Gefühl oder Fühlen genannt (vgl. Handwerker, 2006b, S. 203). Es ist zwischen der Fähigkeit der Exterozeption, das bezeichnet die Wahrnehmung der äußeren Umgebung, und der Interozeption zu unterscheiden. Das ist die Wahrnehmung des Lebewesens selbst, also der inneren Organe (Viszerozeption) oder der Muskelstellung (Propriozeption) (vgl. Handwerker, 2006b, S. 215).

Das Tasten ist eine wichtige Fähigkeit des Menschen zur Außenwahrnehmung. Dabei spricht die Neurowissenschaft von zwei Teilbereichen:

der haptischen und der taktilen Wahrnehmung (vgl. Grunwald u. John, 2008, S.22). Letztere beschreibt die Möglichkeit, eine Berührung wahrzunehmen. Wenn man berührt wird, ist das ein passiver Prozess. Dagegen ist die haptische Wahrnehmung aktiv, bei der der Mensch durch Erkundung die Eigenschaften eines Objektes identifiziert. Dazu gehören unter anderem das Empfinden von Schmerz, Temperatur, Druck, Dehnung oder auch Vibration. An der Identifizierung sind eine Vielzahl von Rezeptoren beteiligt, die jeweils einzelne Teilreize erkennen können. Das Besondere dabei ist, dass sie nicht zentralisiert, wie beim Auge oder Ohr, sondern über den ganzen Körper verteilt vorkommen (vgl. Grunwald u. John, 2008, S. 22).

4.3.2 Vibrationswahrnehmung - Pallästhesie

Die Vibrationswahrnehmung ist eine Komponente der haptischen Wahrnehmung, die auch als Pallästhesie bezeichnet wird. Die Vater-Pacini-Körperchen ermöglichen die Rezeption (vgl. Handwerker, 2006a, S.187). Dabei handelt es sich um spezielle Organe, die ausschließlich der Empfindung von Vibrationen dienen. Diese befinden sich sowohl in den tiefen Hautschichten als auch im Inneren des Körpers (vgl. Brockhaus, Vater-Pacini-Körperchen, o. J., o. S.). Sie sind „recht unempfindlich für gleich bleibenden Druck [...] reagieren hingegen sehr empfindlich auf die Beschleunigung, mit der sich der Druck ändert“ (Handwerker, 2006a, S. 187). Die Reaktion wird durch mechanisch aktivierbare Ionenkanäle ausgelöst, die in einer

zwiebelartigen Schale im Inneren des Körperchens liegen. Langanhaltende mechanische Eindrücke wirken nicht auf den Rezeptor, sondern nur kurzfristige Druckänderungen. Die höchste Empfindlichkeit haben die Rezeptoren bei 300 Hz. Bei dieser Frequenz reicht bereits eine Verformung von wenigen Millimetern, um eine Reaktion auszulösen.

Zusätzlich zu den Vater-Pacini-Körperchen sind Meissner-Körperchen für die Erkennung von Vibrationen verantwortlich. Sie sind vor allem für niederfrequente Änderungen der Oberfläche im Rahmen von drei bis 40 Hz empfänglich (vgl. Hagendorf, et al., 2008, S. 143).

4.3.3 Tiefensensibilität – Propriozeption

Propriozeption beschreibt alle Sinneseindrücke, die durch Sehnen, Muskeln und Gelenke registriert werden (vgl. Birbaumer u. Schmidt, 2010, S. 328). Sie sind Grundlage für den Lagesinn, also der Stellung des Körpers im Raum, dem Kraftsinn, sowie dem Bewegungssinn (vgl. Birbaumer u. Schmidt, 2010, S. 329f). Bei starkem mechanischen Druck oder Vibration werden auch diese Sinneszellen gereizt. Anhand der Informationen aus Muskeln und Gelenken kann der Mensch ein genaues Verständnis über seinen eigenen Körper im Raum bilden. Das ist für die Lokomotion,

die Bewegung von Lebewesen, wichtig und Voraussetzung für ein routiniertes Laufen und Gehen (vgl. Illert u. Kuhtz-Buschbeck, 2006, S. 128). Es ist ein sehr komplexer Vorgang, der unterbewusst abläuft, und bei dem viele Teilfaktoren, wie zum Beispiel Gleichgewicht oder Schrittlänge, beachtet werden müssen (vgl. Illert u. Kuhtz-Buschbeck, 2006, S. 129f). Die Sinneseindrücke ermöglichen ein adaptives System, bei dem der Bewegungsapparat auf veränderte äußere Umstände, wie zum Beispiel Oberflächenstruktur oder Steigung, reagieren kann.

4.3.4 Empfindlichkeit

Die Empfindlichkeit der taktilen Sinne ist von der Körperregion und der Kontaktfläche abhängig (vgl. Hagendorf, et al., 2008, S. 144). Es wird als Tastschärfe bezeichnet. Sie misst den räumliche Abstand zwischen zwei gerade noch separat wahrnehmbaren Sinneseindrücken (vgl. Birbaumer u. Schmidt, 2010, S. 323). Körperteile, wie zum Beispiel die Fingerkuppen, sind mit ein bis drei Millimetern besonders hoch, andere, wie zum Beispiel der Rücken oder Oberschenkel, mit 50 - 100 Millimetern deutlich gröber aufgelöst. Die Fußsohle ist mit 10 Millimetern Tastschärfe nur leicht schlechter als die Hand. Die Raumschwelle ist keine Konstante. Training kann sie verbessern. Vor allem Personen, die auf einzelne Sinne verzichten müssen, können besonders feine Auflösungen erreichen (vgl. Birbaumer u. Schmidt, 2010, S. 323).

Die Empfindlichkeit der Vibrationswahrnehmung ist vorrangig nicht von der Tastschärfe, sondern von der Genauigkeit der einzelnen Sinneszellen und den rezeptiven Feldern abhängig. Sie bündeln mehrere Rezeptoren zu einem Areal zusammen und geben dessen Signale zusammen an das nachstehende Nervensystem weiter (vgl. Handwerker, 2006b, S. 223). Die Größe der Felder ist ausschlaggebend für die Genauigkeit der Wahrnehmung. Die Vater-Pacini-Körperchen weisen große Felder auf (vgl. Birbaumer u. Schmidt, 2010, S. 326). Die Auflösung der Pallästhesie ist damit im Vergleich zu den anderen taktilen Eindrücken schlechter. Dies hat Auswirkung auf die Genauigkeit der Vibrationswahrnehmung.



**Rezeptive Felder
der Vater-Pacini Körperchen**



**Rezeptive Felder
der Merkel-Zellen**

Abb. 12 Visualisierung der rezeptiven Felder einer Hand
Nach Birbaumer u. Schmidt, 2010, S. 326

4.4 Selektive Wahrnehmung

Die Reizwahrnehmung besteht sowohl aus der Umwandlung eines Reizes in ein elektrisches Signal (Transduktion) als auch der subjektiven Interpretation durch das Nervensystem und Gehirn. Verschiedene Prozesse beeinflussen den Vorgang. Wichtigster Faktor ist die selektive Wahrnehmung, das sind „die kognitiven Fähigkeiten, die eine Teilmenge sensorischer Reize höheren Prozessen der Kontrolle von Denken und Handeln zugänglich machen“ (Krummenacher, Müller u. Schubert, 2010, S. 179). Sie ist essenziell, um aus der großen Masse an Sinneseindrücken die relevanten zu filtern. Dabei werden Prioritäten zwischen konkurrierenden Zielen gesetzt (vgl. Birbaumer

u. Schmidt, 2010, S. 498). Sie leiten sich aus den Bedürfnissen des Menschen ab. Das Konzept der handlungssteuernden späten Selektion von Deutsch und Deutsch (1963) geht davon aus, dass nur die Reize weiterverarbeitet werden, die für die aktuelle Aufgabe am relevantesten sind (vgl. Müller, Krummenacher u. Schubert, 2015a, S. 13f). Auf dieser Basis kann argumentiert werden, dass Reize, die Einfluss auf grundlegende Funktionen nehmen, wie zum Beispiel das Gehen und das Halten des Gleichgewichtes, besonders salient sind. Eine Vibration am Fuß kann dementsprechend als stark auffallend angesehen werden.

4.4.1 Aufmerksamkeitsressource

Die selektive Wahrnehmung wird durch die Aufmerksamkeit gesteuert, die aber nur limitierte Ressourcen besitzt, die limitierte Aufmerksamkeitskapazität (vgl. Birbaumer u. Schmidt, 2010, S. 498). Es wird davon ausgegangen, dass jeder sensorische Kanal eine begrenzte Kapazität zur Informationsübertragung besitzt und voneinander unabhängig ist. Zusätzlich gibt es noch einen oder mehrere zentrale Aufmerksamkeitsmechanismen, die übergeordnet die Aufmerksamkeit steuern (vgl. Birbaumer u. Schmidt, 2010, S. 502).

Ein Mensch kann mehrere Aufgaben ohne Störung zeitgleich lösen, solange diese in unterschiedlichen Sinnesmodalitäten stattfinden. So fällt ihm bei der visuellen Aufnahme von Informationen eine zeitgleiche, zusätzliche visuelle Aufgabe schwer. Die Kapazität der Modalität ist ausgeschöpft (vgl. Birbaumer u. Schmidt, 2010, S. 501). „Die simultane Verarbeitung von Information innerhalb oder zwischen den wichtigsten Verarbeitungsdimensionen (räumlich, semantisch etc.) ist bei neuen Reizen nicht möglich“ (Birbaumer u. Schmidt, 2010, S. 501). Trotz der Trennung zwischen den Sinnen



Abb. 13 Verkehrsampel als Informationssystem

kommt es unter ihnen zu Interferenzen. Vor allem visuelle und auditive Reize behindern sich gegenseitig (vgl. Birbaumer u. Schmidt, 2010, S. 498).

Durch die Verwendung von wenig genutzten Sinnesmodalitäten können Einschränkungen in der Wahrnehmung umgangen und einfacher Aufmerksamkeit erzeugt werden.

4.4.2 Erzeugen von Aufmerksamkeit

Die Aufmerksamkeit hängt von verschiedenen Faktoren ab und kann aktiv beeinflusst werden. Zwei Mechanismen sind zu unterscheiden. Zum einen ist sie durch die Eigenschaften des Objektes steuerbar. Das bedeutet, bestimmte Merkmale, wie zum Beispiel ein besonderer Farbkontrast oder eine außergewöhnliche Lautstärke, ziehen die Aufmerksamkeit auf das Objekt. Diese auszeichnenden Eigenschaften werden unter dem Begriff der Salienz zusammengefasst (vgl. Parkinson, 2014, S. 92). Es ist ein unterbewusster Prozess, der keine im Gedächtnis verankerten Informationen nutzt. Das Objekt sticht mit seinen Eigenschaften aus der Umgebung hervor und erzeugt aus sich heraus eine Reaktion des Empfängers (vgl. Hagendorf, et al., 2011, S. 24). Diese Art der Aufmerksamkeitserzeugung gilt als ein Bottom-up-Prozess. Durch ihn kann der Mensch seine Umgebung sehr schnell erfassen, da nur eine

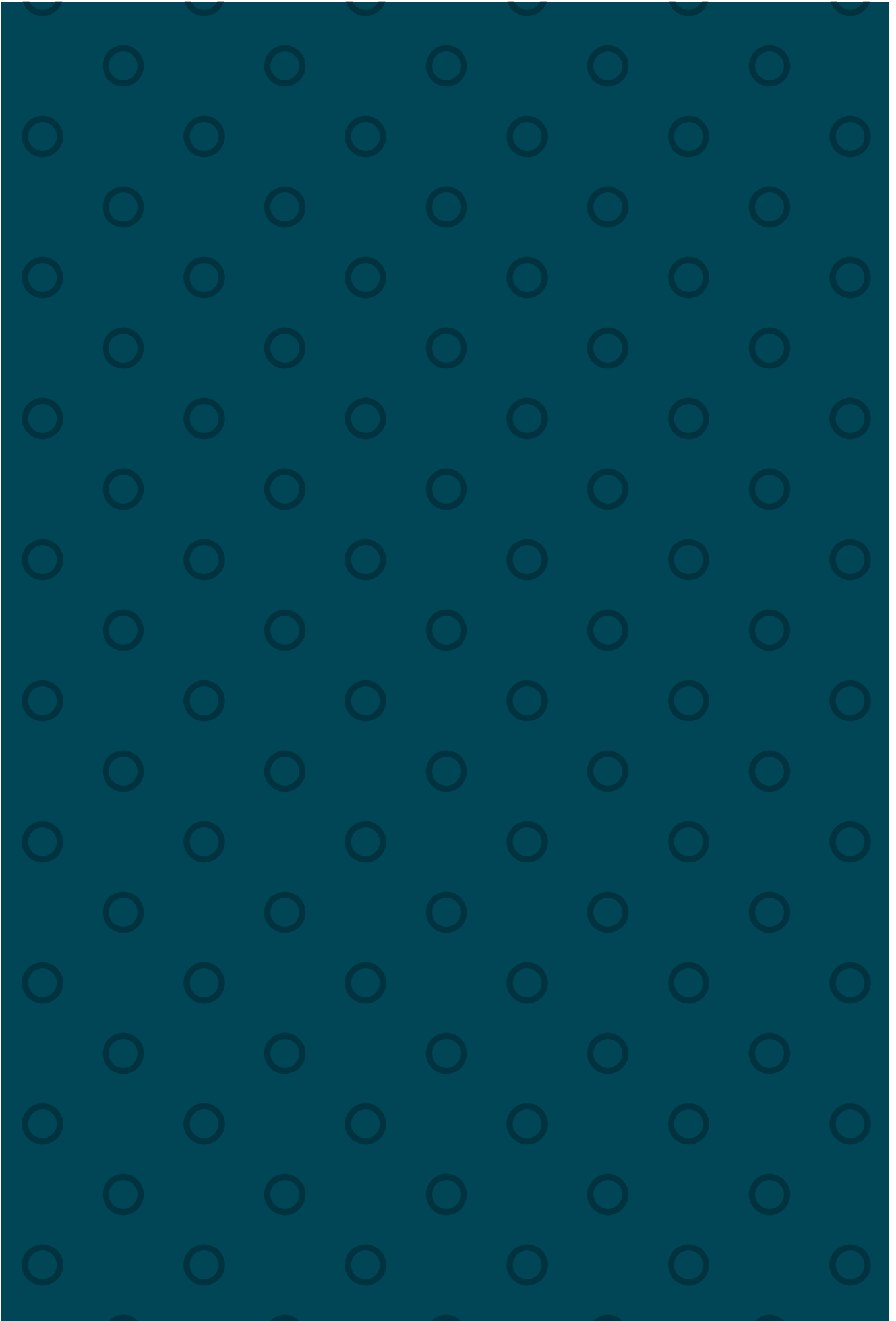
geringe kognitive Wahrnehmungsleistung nötig ist (vgl. Hagendorf, et al., 2011, S. 24). Leitsysteme setzen die Erkenntnisse aktiv ein. So sind Verbotsschilder oder Signale eines Einsatzfahrzeuges stark salient, damit sie wahrgenommen werden.

Zum anderen wird bei einem Top-down-Prozess die Verarbeitung von eingehenden Reizen durch bereits vorhandenes Wissen beeinflusst. Das Bewusstsein hat einen direkten Einfluss auf die Wahrnehmung (vgl. Hagendorf, et al., 2011, S. 24). Dabei wird die Reizaufnahme aktiv auf eine Aufgabe fokussiert. So ist ein Verkehrsteilnehmer besonders sensibel für die im Straßenverkehr notwendigen Verkehrszeichen. Er ist kognitiv beansprucht und stößt schneller an die Aufmerksamkeitskapazität. Für die Aufgabe irrelevante Reize werden aktiv ausgeblendet.

4.5 Zusammenfassung

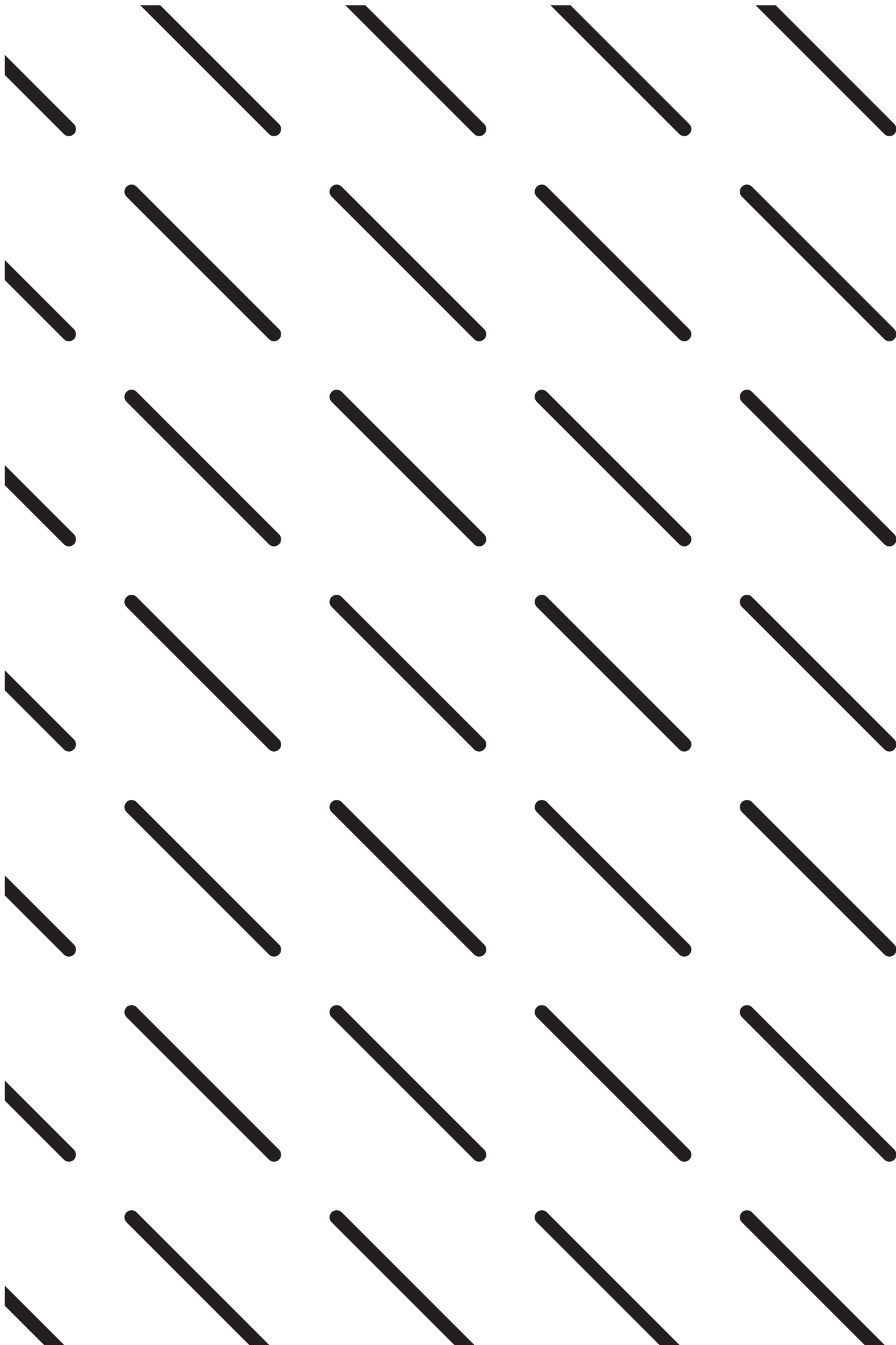
Für das zu entwickelnde System lassen sich aus den wissenschaftlichen Aussagen Erkenntnisse schließen. Es zeigt sich, dass Informationssysteme durch die Nutzung von Bottom-Up-Prozessen ihre Aufgaben besser erfüllen können. Das neue System muss demnach eine hohe Salienz erzeugen können. Jedoch ist die Aufnahme von visuellen und auditiven Informationen im öffentlichen Raum durch die begrenzten Aufmerksamkeitsressourcen beschränkt. Ebenso stellt die Interferenz zwischen auditiven und visuellen Signalen eine Hürde für diese Kanäle dar. Im Gegensatz dazu wird die taktile Wahrnehmung in einer Umgebung nur unterbewusst für die Lokomotion eingesetzt. Eine

Nutzung des Kanals könnte einen starken Reiz darstellen, ohne dabei mit anderen Signalen konkurrieren zu müssen. Ebenso zeigt das Modell von Deutsch & Deutsch (vgl. Müller, et. al, 2015a, S. 13f), dass die Reize, die mit einer aktuellen Aufgabe verknüpft sind, eine besondere Relevanz haben. Da die Fortbewegung und das Halten des Gleichgewichts kritische, unterbewusste Aufgaben des zentralen Nervensystems sind, kann davon ausgegangen werden, dass Einflüsse, die diese betreffen, besonders salient sind. Zusätzlich zeigt sich, dass der Mensch eine ähnlich hohe Empfindlichkeit auf Vibrationen in seinem Fuß besitzt wie in seiner Hand.



5

Grundlagen Ganganalyse



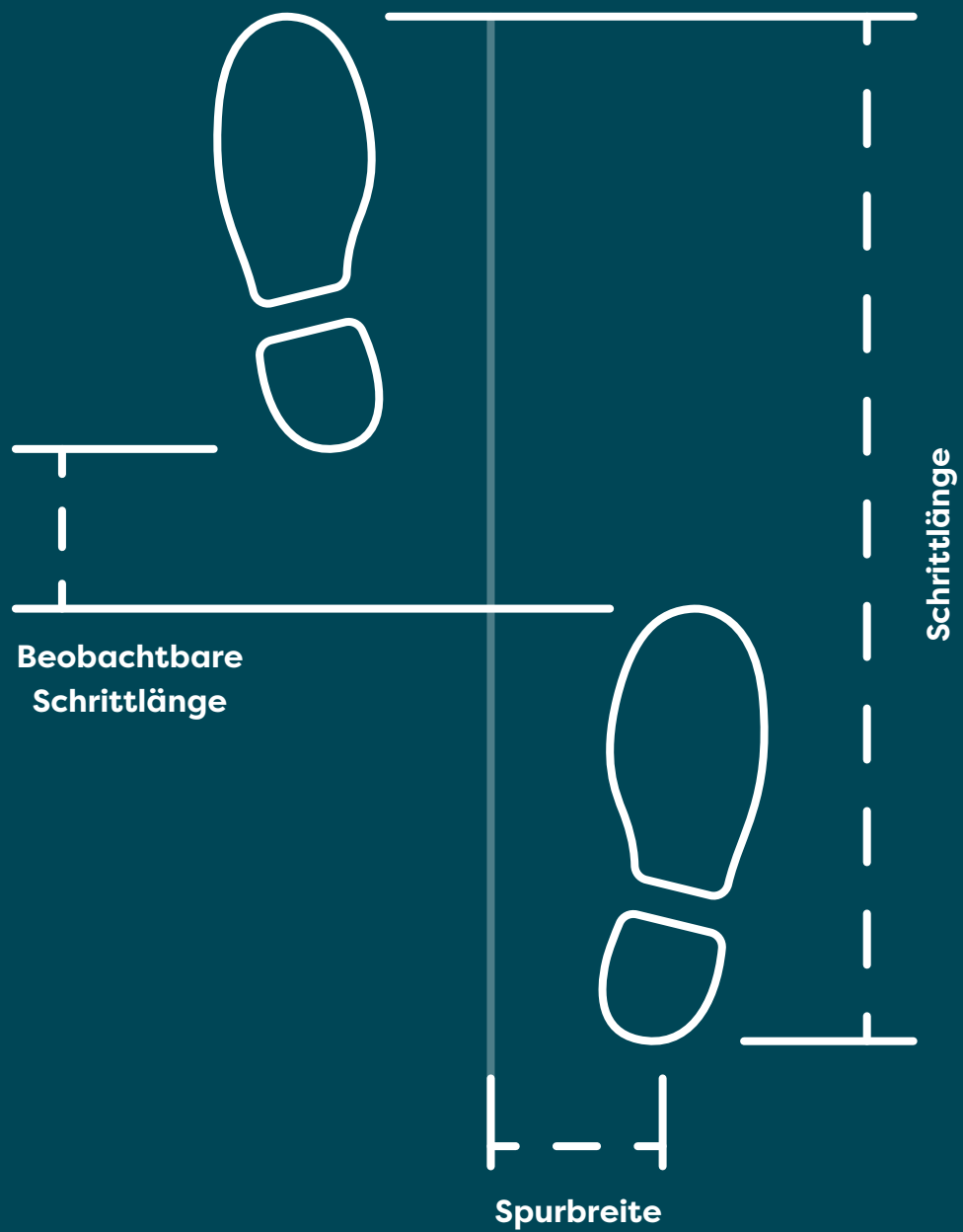


Abb. 14 Darstellung des menschlichen Gangs
Nach Suppé, 2013c, S. 47

Das zu entwickelnde System soll Nutzer sowohl im Stehen als auch in ihrer Bewegung erkennen und ansprechen können. Dazu ist es nötig, dass die Bewegung eines Menschen identifiziert und verstanden wird. Auf Grundlage von physiologischen Erkenntnissen lassen sich weitere Anforderungen an das System ableiten. Vier Faktoren des Gangs sind zu betrachten: Die Schrittfrequenz, Schrittlänge, die Spurbreite sowie das Abrollen des Fußes.

Der Bewegungsapparat nutzt die bereits benannten propriozeptiven, vestibulären und visuellen Sinnesinformationen unterbewusst für die Steuerung der Fortbewegung. Durch diese Informationen passt der Mensch seinen Gang adaptiv an die Umgebung an (vgl. Illert u. Kuitz-Buschbeck, 2006, S.129).

Schrittfrequenz

Die Schrittfrequenz liegt im Durchschnitt bei 113 Schritten pro Minute (vgl. Suppé, 2013a, S. 18). Der Anteil der Standbeinphase, also der Zeit, bei der der Fuß Bodenkontakt hat, beträgt 60 % (vgl. Suppé, 2013b, S. 5). Bei höheren Geschwindigkeiten verkürzt sich die Standbeinphase (vgl. Suppé, 2013a, S. 18). Das bedeutet, dass ein Schritt etwa 0,5 Sekunden andauert

und dabei 0,3 Sekunden Bodenkontakt besteht. Das neue System kann nur in diesen Phasen Reize übertragen. Sobald Geschwindigkeiten über das Gehen hinaus erreicht werden, zum Beispiel im Laufen, verkürzt sich die Kontaktzeit noch weiter. Die Schrittfrequenz liegt dann im Schnitt bei ca. 160-170 Schritten pro Minute (vgl. Bongartz, 2013, S. 144). Dies stellt eine besondere Herausforderung dar.

Schrittlänge

Die Schrittlänge beschreibt nicht die tatsächlich zurückgelegte Strecke, sondern den Abstand zwischen dem Fersenkontakt eines Fußes zum Fersenkontakt des anderen Fußes (vgl. Suppé, 2013c, S. 47). Die tatsächliche Geschwindigkeit ist eng verknüpft mit der Schrittlänge und variiert stark von Person zu Person. In der Regel werden pro Minute 82 Meter zurückgelegt. Im Schnitt liegt die Schrittlänge zwischen 60 und 96cm (vgl. Suppé, 2013c, S. 46). Um eine gesamte Schrittbewegung abbilden zu können, wird das neue System auf eine Länge von 90 Zentimetern konzipiert. Diese Länge kann einen Großteil aller Probanden abdecken und ist gleichzeitig für eine prototypische Umsetzung geeignet.

Spurbreite

Die Spurbreite bezeichnet den horizontalen Abstand der Füße und ist stark vom individuellen Gang abhängig. Sie variiert je nach Tätigkeit und ist im Stehen deutlich breiter als im Gehen (vgl. Suppé, 2013d, S. 36f). Dadurch ergeben sich zwei Szenarien, in denen das neue System unterschiedliche Anforderungen erfüllen muss. Für einen richtungscodierten Reiz ist in der Bewegung eine höhere Auflösung nötig als im Stehen.

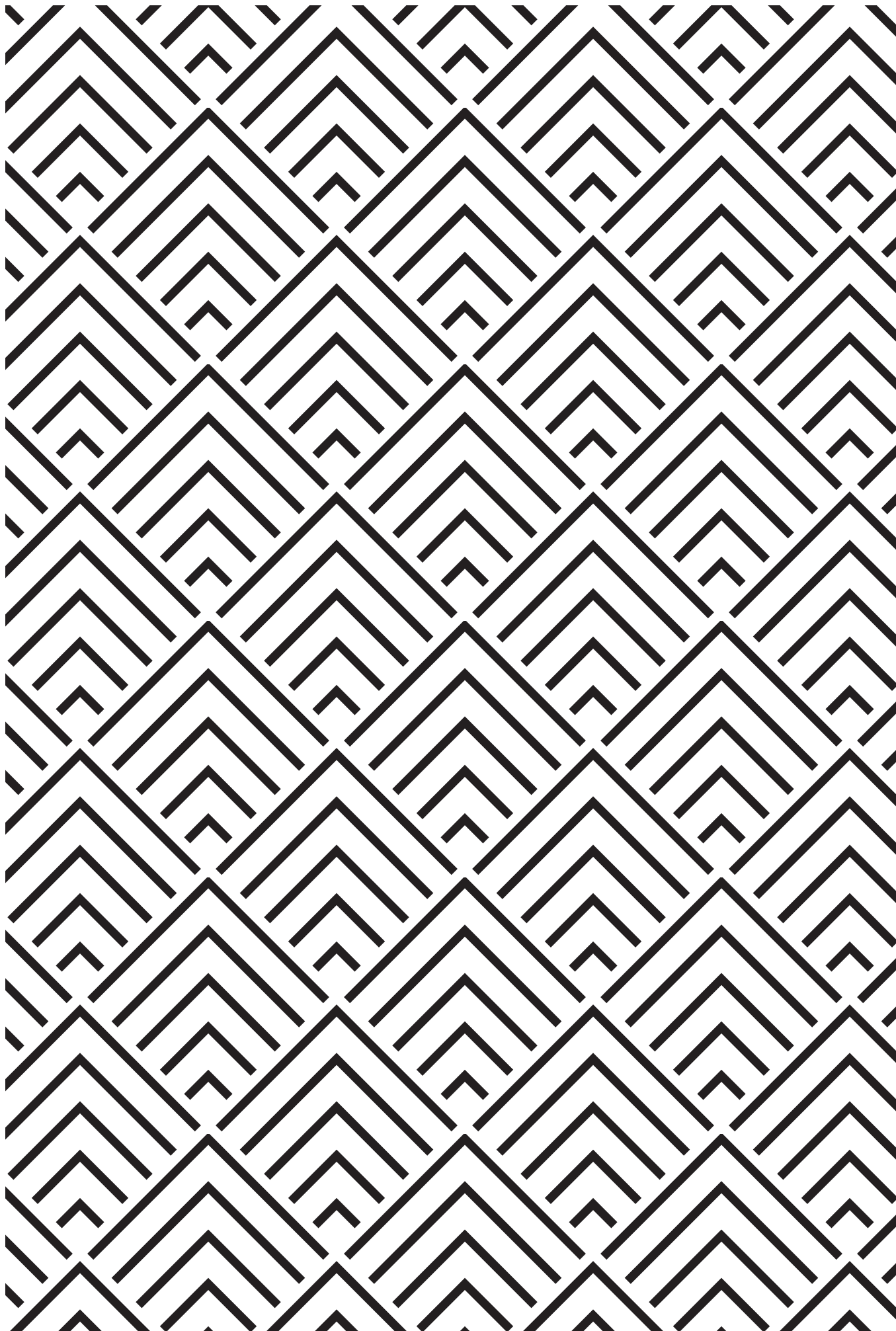
Abrollen des Fußes

Während des Gehens haben verschiedene Teile der Fußsohle Kontakt mit dem Boden. Das geschieht durch das Abrollen des Fußes. In den einzelnen Phasen des Auftretens ist der Fuß nur teilweise belastet. Vor allem kurz nach dem Auftreten und kurz vor dem Abstoßen sind die belasteten Zonen besonders klein (vgl. Suppé, 2013e, S. 52). Die Kontaktfläche, über die Reize vermittelt werden können, ist reduziert. Jedoch sind die Einschränkungen voraussichtlich für das neue System nur marginal und somit vernachlässigbar.



6

Ausgangssituation



6.1 Bestehende Informationssysteme im öffentlichen Raum

Schon lange kommen im öffentlichen Raum Informationssysteme zum Einsatz. Weit verbreitet sind vor allem Systeme wie Ampeln, Schilder, Informationstafeln oder Reklame. Sie erfüllen diverse Aufgaben und vermitteln auf vielfältige Weise ihre Informationen. Im Rahmen der Projektphase ist zur Einordnung bestehender Systeme eine Kategorisierung erarbeitet worden. Folgende Kriterien werden genutzt: Salienz, Modalität, Dynamik, Verständlichkeit, Kontextsensibilität. Eine fünfstufige Skala bewertet die Systeme. Die Kategorisierung ist kein allgemein gültiger, objektiv belastbarer Standard, sondern soll zum besseren Verständnis des Ist-Zustandes dienen.

Verkehrssampel

Die Verkehrssampel kann in einem begrenzten, festdefinierten Rahmen dynamische Informationen darstellen. Visuelle sowie teilweise auditive Reize werden eingesetzt. Ihre Salienz ist durchschnittlich. Das Leuchten und die auffälligen Farben sprechen Personen an. Jedoch erhält die Ampel vor allem durch Top-Down-Prozesse Aufmerksamkeit. Durch die Gewohnheit ist dem Nutzer die Wichtigkeit des Systems bewusst. Der Einsatz von Warnfarben

wie Rot macht das System in geringem Maß selbsterklärend, aber die eigentliche Funktion ist erst durch Vorwissen ersichtlich. Komplexere Ampelschaltungen reagieren auf Situationen und sind teilweise kontextsensitiv.

Verkehrsschild

Verkehrsschilder können kaum dynamische Informationen darstellen. Auch wenn sie durch Zusätze, wie zum Beispiel Bei Nässe, erweitert sind, müssen Nutzer diese selbstständig erkennen. Ausschließlich visuelle Reize kommen zum Einsatz und die Salienz ist stark beschränkt. Das System erzeugt Aufmerksamkeit vorrangig durch einen Top-Down-Prozess. Nutzer müssen aktiv auf Schilder achten und diese identifizieren. Eine kontextabhängige Darstellung ist nicht möglich. Ebenfalls ist ein Verständnis ohne Vorwissen kaum erreichbar.

Digitale Werbetafel

Digitale Werbetafeln können dynamische Informationen darstellen und in spezifischen Fällen auch interaktiv und damit kontextsensitiv sein. Letztere sind eher Ausnahmen im Rahmen von speziellen Werbeinstallationen. Die Salienz ist stark abhängig von den dargestellten Inhalten und der Größe der Werbetafel.

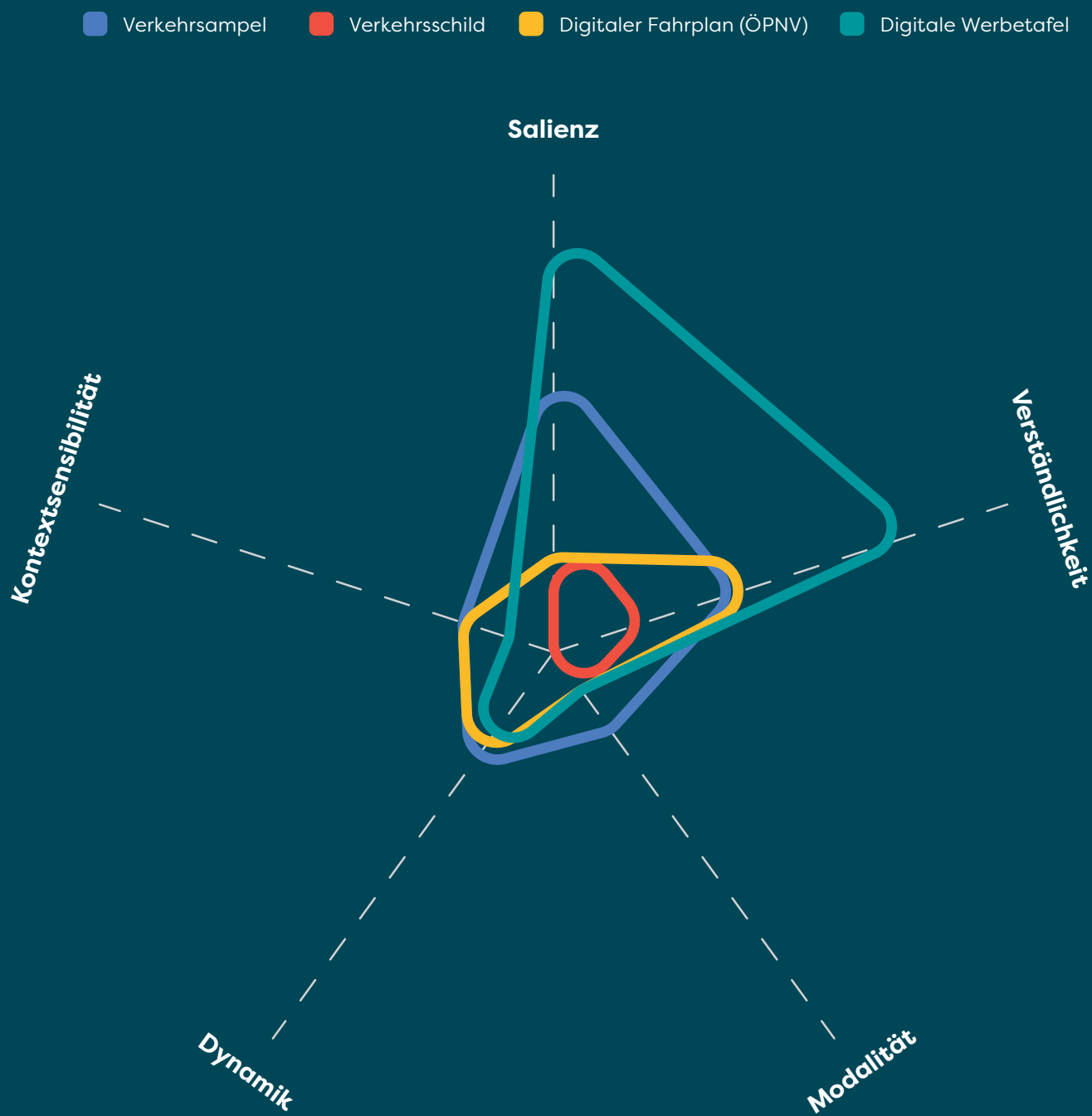
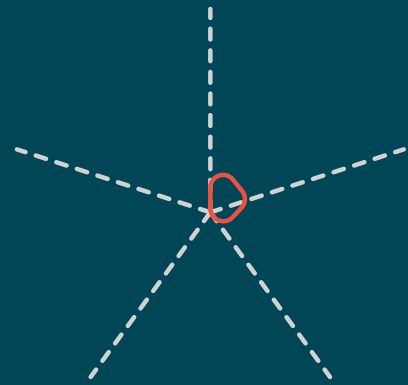


Abb. 15 Darstellung der Kategorisierung bestehender Informationssysteme

Ausgangssituation



Verkehrsampel



Verkehrsschild



Digitaler Fahrplan (ÖPNV)



Digitale Werbetafel

Abb. 16 Einzeldarstellung der Kategorisierung bestehender Informationssysteme

Jedoch kann das System starke Reize auslösen. Die Aufmerksamkeit wird durch Bottom-Up-Prozesse erzeugt. Es kann abhängig von der dargestellten Information auch ohne Vorwissen interpretiert werden.

Digitaler Fahrplan (ÖPNV)

Ein digitaler Fahrplan kann mit dynamischen Informationen versorgt werden. Sie können kontextsensitiv dargestellt sein und beziehen sich meist auf Echtzeitdaten des öffentlichen Nahverkehrs. Die Salienz ist dabei gering und ebenso die Erzeugung von Aufmerksamkeit. Das System ist bei gebrauchstauglicher Gestaltung zum Großteil selbsterklärend.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die betrachteten Systeme im öffentlichen Raum einzelne Anforderungen nur unzureichend erfüllen können. Fast ausschließlich setzen sie auf die Nutzung der visuellen Sinnesmodalität. Nur in sehr ausgewählten Einsatzzwecken werden zusätzliche Reize verwendet. Es handelt sich aber in der Regel um Erweiterungen eines bestehenden Systems, das hauptsächlich visuelle Eindrücke vermittelt.

Außerdem sind die betrachteten Systeme zumeist kaum kontextsensitiv und nur eingeschränkt in der Lage, dynamische Informationen darzustellen. Das bedeutet, dass sie die Informationsvermittlung nicht an die bestehende Situation anpassen können. Eine individuelle, direkte Ansprache eines spezifischen Nutzers ist kaum möglich.

Mehrere untersuchte Systeme bedienen sich gelernter Zeichen und setzen ein Vorwissen voraus, um verstanden zu werden. Es ist ein Symbol, das durch Konvention einer Bedeutung zugeordnet wird. Dass eine rote Ampel Stop bedeutet, ist eine gelernte Konvention. Um eine Information zu interpretieren, muss der Nutzer das dahinterstehende Codierungssystem kennen.

Ausgangssituation

Im Rahmen der Projektphase sind mehrere Anforderungen für das neue Informationssystem formuliert:

Das System muss **alternative Sinnesmodalitäten** nutzen.

Das System muss **aktiv** den Nutzer ansprechen.

Das System muss **gezielt einzelne Nutzer** adressieren.

Das System muss Rezipienten **identifizieren** können.

Das System muss Informationen **privat** übermitteln.

Das System muss **selbsterklärend** sein.

Das System muss **kontextsensitiv** sein.

Das System muss **dynamische** Informationen weitergeben können.

6.2 Anwendung taktiler Reize zur Informationsvermittlung

Die Nutzung von taktilen Reizen ist in unterschiedlichen Anwendungen verbreitet. Die wohl bekannteste ist der Vibrationsalarm bei Mobiltelefonen. Auch Videospiele setzen auf eine erweiterte Immersion durch den Einsatz von Force Feedback, um mechanische Eindrücke aus dem Spiel in die reale Welt zu übertragen. Außerdem gibt es Schnittstellen zwischen Autofahrern und ihrem Fahrzeug, die taktile Reize am Gaspedal übertragen (vgl. Liedecke, 2016, S. 87-90). Die Forschung zeigt eine weite Bandbreite an Einsatzmöglichkeiten für taktile Sinnesmodalität. So wird die gute Wahrnehmungsfähigkeit der Zunge als Ersatz für die visuellen Reize bei Blinden eingesetzt (vgl. Danilov Y., Tyler M. u. Kaczmarek K., 2008, S. 87-90). Im Alltag beschränken sich jedoch die Anwendungsfälle vorrangig auf persönliche Endgeräte und eine Wahrnehmung mittels der Hände.

Ein besonderes Informationssystem im öffentlichen Raum ist das Blindenleitsystem. Es handelt sich um ein Bodenleitsystem, das Menschen mit Sehbehinderung eine einfache und sichere Bewegung im Alltag ermöglicht. Es basiert auf Bodenindikatoren, deren auffällige Oberflächenstruktur als informationstragendes

Element identifiziert wird (vgl. Rosburg T., 2008, S. 491-494). Zumeist ist es auf die Nutzung eines Blindenstocks ausgelegt und erfüllt verschiedene Funktionen. Im Vordergrund steht vor allem die Markierung von Gefahrenstellen und relevanten Orten. Das können zum Beispiel eine Treppe oder eine Bushaltestelle sein. Seit 2011 gilt die neue DIN-Norm 32984 (vgl. DIN 32984-1, 2011, o.S.). Ihre Richtlinien sollen die lokal sehr unterschiedlichen Umsetzungen vereinheitlichen und einen allgemeingültigen Standard schaffen.

Die Vermittlung kritischer Informationen ohne die Nutzung visueller oder auditiver Reize wird im öffentlichen Raum in kaum einer anderen Form eingesetzt. Der Boden und seine Oberflächen als Medium zur Übertragung von Hinweisen und Warnungen ist die grundlegende Inspiration für das neue System. Blindenleitsysteme sind jedoch ausschließlich für eine beschränkte Gruppe nutzbar. Sie setzen ein grundlegendes Wissen voraus. Außerdem lassen sich die Oberflächenstrukturen meist nur mit Hilfsmitteln erfassen. Die Übertragung dieser Grundidee für einen breiten Einsatz verschiedener Nutzergruppen ist Ziel der Arbeit.



Abb. 17 Nahaufnahme eines Blindenleitsystems

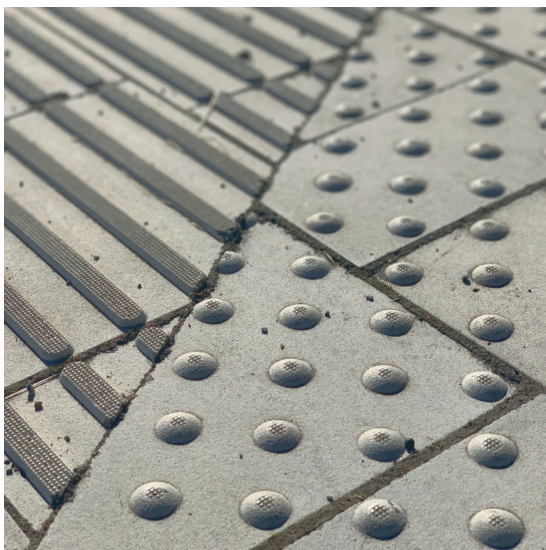


Abb. 18 Unterschiedliche taktile Bodenelemente



Abb. 19 Blindenleitsystem zur Markierung einer Bushaltestelle

Ausgangssituation

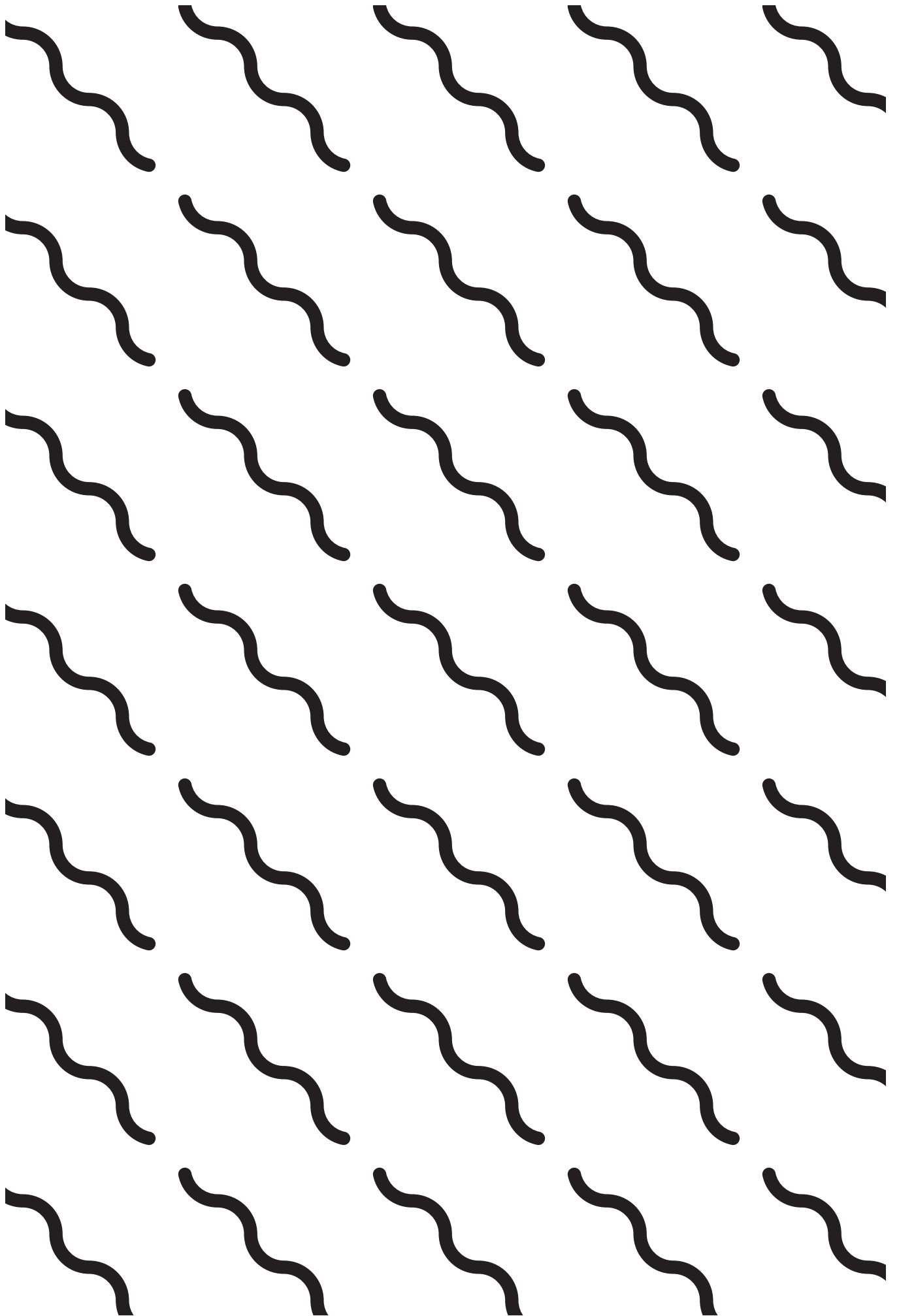


Abb. 20 Blindenleitsystem zur Markierung einer Verkehrsampel



7

Konzeption des neuen Informationssystems



7.1 Konzeptionelle Ziele

In der Betrachtung des Ist-Zustandes zeigt sich, dass eine kontextsensitive Informationsübertragung im öffentlichen Raum derzeit kaum möglich ist. Aus diesem Grund wird ein System entwickelt, dass reaktiv und an die Situation angepasst agieren kann.

Die bestehenden Informationssysteme stellen Inhalte vorrangig durch visuelle Reize dar, was

die Aufmerksamkeitsressourcen stark beansprucht. Um dies auszugleichen, soll das neue System taktile Sinneseindrücke und den Boden als Übertragungsmedien einsetzen.

Durch ein Richten der Reize auf einen spezifischen Nutzer wird dieser explizit angesprochen und eine hohe Aufmerksamkeit erreicht.

7.2 Usecases

Um den Einsatzzweck und die erwarteten Funktionen des neuen Systems genauer zu definieren, wurden im Rahmen der Projektphase folgende Usecases gebildet. Diese Anwendungsfälle beschreiben mögliche Situationen, in denen das System zum Einsatz kommt, und dienen als Grundlage der Konzeption.

1. Ein Passant überquert eine Straße, ohne auf den kommenden Verkehr zu achten. Es nähert sich ein Fahrzeug und die Sensorik der Real-Time-City erkennt die Gefährdung. Das System leitet eine Warnung an die Person ein, um einen Zusammenstoß zu vermeiden.
2. Passanten begeben sich in einen gesperrten Bereich. Das System weist auf die Sperrung hin und versucht den Aufenthalt

in diesem Bereich unangenehm zu machen, um die Nutzer am weiteren Betreten der Zone zu hindern.

3. In einer überfüllten Innenstadt muss ein Fahrzeug zu einer Einsatzstelle kommen. Um schneller durch die Menschenmenge zu gelangen, weist das System frühzeitig auf das sich nähernde Fahrzeuge hin und fordert zum Ausweichen bzw. Bilden einer Rettungsgasse auf.
4. In einem Bahnhof geht von den Bereichen nahe der Bahnsteigkante eine Gefahr aus. Das System vermittelt diese Gefährdung und spricht zusätzliche starke Warnungen aus, sobald durch einen einfahrenden Zug eine unmittelbare Bedrohung bevorsteht.

7.3 Explorationen

Zur Entwicklung des Konzeptes ist es wichtig, die Wahrnehmung von Vibrationen über den Fuß genauer zu betrachten. Drei Explorationen werden konzipiert und durchgeführt. Dazu sind Probanden auf unterschiedliche Weise Vibrationen ausgesetzt. Aus ihren Erfahrungen und den gemessenen Daten können Schlüsse für die weitere Konzeption gezogen werden. Jede Exploration baut auf den Erkenntnissen der vorhergehenden auf und untersucht spezifische Fragestellungen.

Die technische Grundlage der Versuche ist eine Bodenplatte von 30 x 30 Zentimetern Ausmaß. Sie ist in neun gleich große Sektionen unterteilt. Jede kann durch einen eigenen Vibrationsmotor unabhängig von den anderen zum Vibrieren gebracht werden. Die Vibrationseigenschaften sind modulierbar. Die einzelnen Zonen lassen sich in ihrer Stärke und Dauer mit Hilfe einer grafischen Oberfläche präzise steuern.

Die Vibrationsmotoren müssen durch das Körpergewicht eine verhältnismäßig hohe Masse in Bewegung versetzen. Aus diesem Grund soll das System in der Lage sein, eine hohe Kraft zu erzeugen. Sogenannte Unwuchtmotoren kommen zum Einsatz, die bei kleiner

Bauweise starke Vibrationen erzeugen. Durch das Antreiben eines unausgeglichene Gewichtes kommt es zu einer Unwucht, die durch die Zentrifugalkräfte eine Schwingung auslöst (vgl. Brockhaus, Unwuchtmotor [Fördertechnik], o. J., o. S.). Die Motoren sind stark verbreitet und werden in verschiedensten Anwendungsfällen eingesetzt. Es gibt sie sowohl in Handys als auch in Baumaschinen, wie zum Beispiel Rüttelplatten.

Als Gleichstrommotoren sind sie bauartbedingt jedoch ungenau steuerbar, da sie nur mit der Stromversorgung ein- oder ausgeschaltet werden können. Ihre Geschwindigkeit wird durch einen Vierquadrantensteller moduliert. Um die Vibration steuerbar zu machen, kommt der Motorcontroller L298N zum Einsatz. Er kann durch eine PWM-Steuerung die Motoren in ihrer Drehrichtung beeinflussen sowie ihre Geschwindigkeit verändern.

Fünf dieser Controller werden über einen Arduino Mega 2560 gesteuert. Dieser erhält über ein visuelles Benutzerinterface auf einem Steuerungscomputer alle notwendigen Anweisungen, sodass die neun Zonen präzise zu kontrollieren sind.

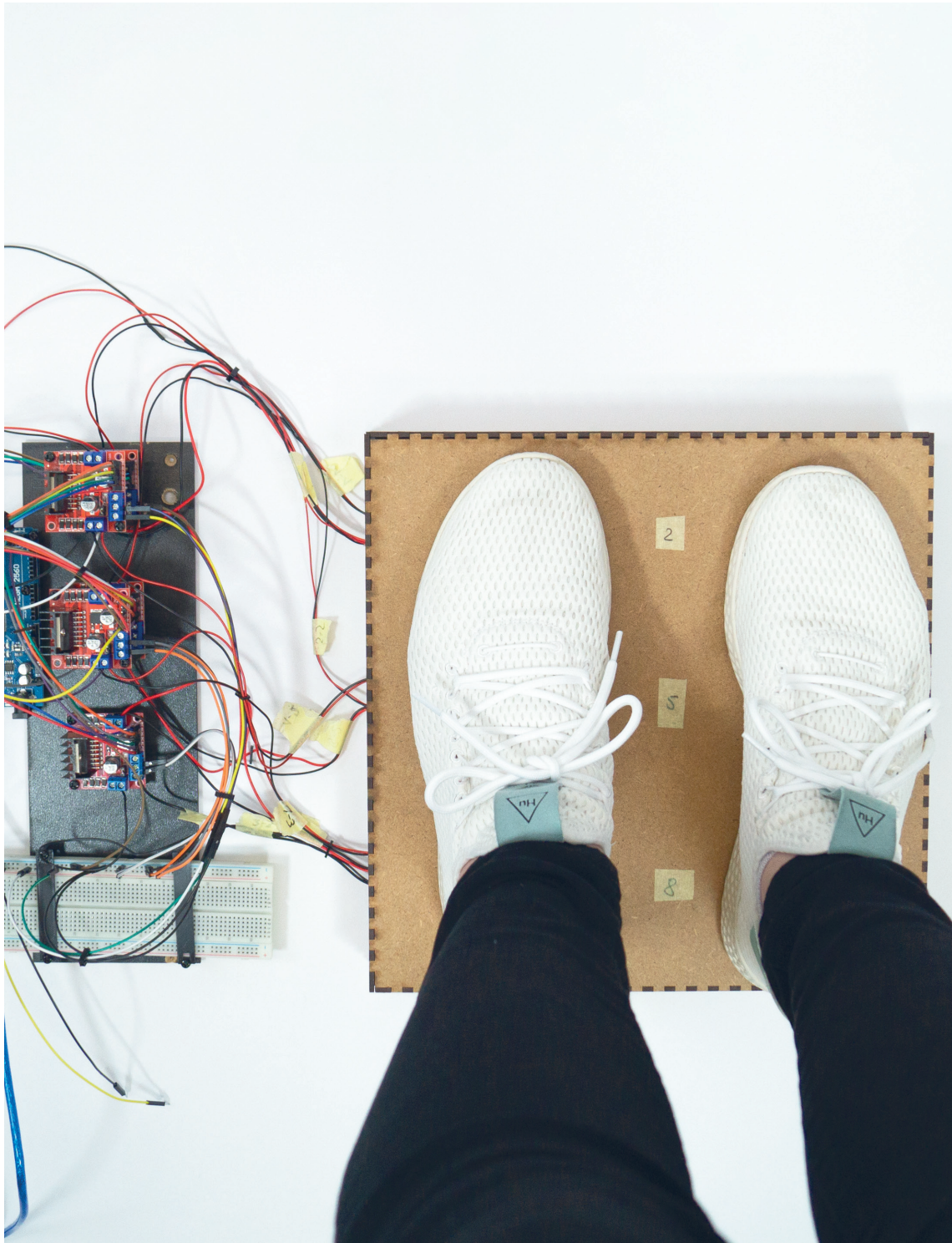


Abb. 21 Proband während der Exploration 1

7.3.1 Exploration 1 – Taktile Wahrnehmung von Füßen

Die Exploration 1 betrachtet die Empfindlichkeit von Füßen gegenüber Vibrationen, die Wahrnehmungspräzision sowie die Identifizierbarkeit von Mustern. Dazu werden einzelne Aspekte einer Vibration isoliert und mit den Testpersonen erprobt. Jeder der insgesamt neun Probanden bildet dabei 64 verschiedene Versuchsdurchgänge ab.

Der Versuch besteht aus fünf Teilbereichen. Jeden davon durchlaufen die Probanden in vier Varianten: eine Hand, ein Fuß mit Strumpf, zwei Füße mit Strumpf, zwei Füße mit Schuhen. So wird ein weites Spektrum an Anwendungsfällen abgebildet. Als Referenz werden alle Tests zusätzlich mit der Hand durchgeführt. Dies dient als Kontrollgruppe zur Einordnung der Daten.

Die Größe der Bodenplatte sowie die Einteilung der Zonen ist so gewählt, dass der Fuß drei der Zonen unmittelbar berührt, während die äußeren Zonen nur zur Hälfte bedeckt werden. Das Ziel ist die Abbildung sowohl der direkten als auch peripheren Wahrnehmung.

Bei der Kontrollanalyse platzieren die Testpersonen ihre Hand auf einer ähnlich großen Fläche wie ihren Fuß, um eine vergleichbare Abdeckung zu erreichen. Im Folgenden sind die drei mittleren Zonen, die in unmittelbarem Kontakt zum Probanden stehen, als direkte Zonen bezeichnet, die sechs außenliegenden als indirekte Zonen. Die einzelnen Versuche und deren Parameter werden randomisiert, damit die Nutzer nicht aus vorherigen Durchgängen Rückschlüsse ableiten können.

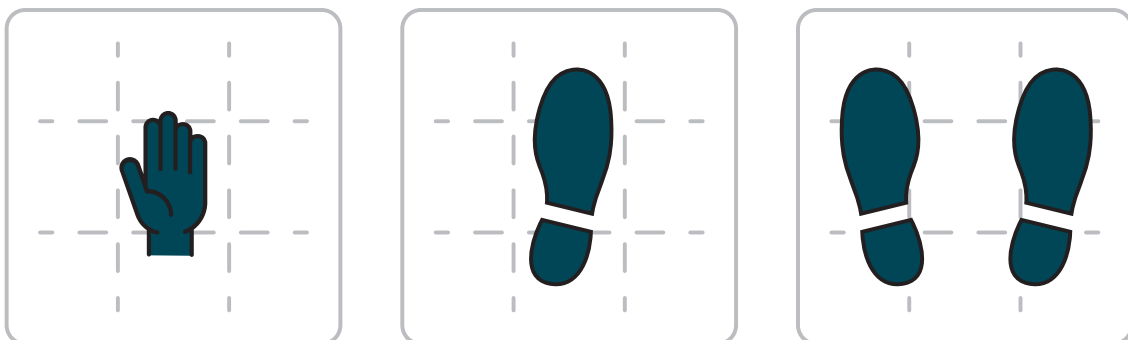


Abb. 22 Kontaktflächen der einzelnen Versuchsdurchgänge

1. Teilversuch – Empfindlichkeit der Wahrnehmung

Ziel des ersten Teilversuchs ist es, die Wahrnehmungsschwelle für Vibrationen zu identifizieren. Dabei wird die Vibrationsstärke langsam erhöht bis die Nutzer eine Bewegung verspüren können. In 0,1 Volt-Schritten erfolgt eine Erhöhung der Motorstärke. Die Probanden sind angewiesen, eine Wahrnehmung direkt zu vermerken.

Im ersten Durchgang wird die gesamte Bodenplatte in Schwingung versetzt, in den darauffolgenden nur einzelne Platten im inneren und äußeren Feld. Jeder Proband führt den Versuch insgesamt sechsmal durch. Im Folgenden wird die Stromstärke als Angabe der Vibrationsstärke verwendet. Dies ermöglicht eine Vergleichbarkeit innerhalb der Testabläufe.

Die Auswertung ergibt, dass die Probanden eine Vibration schon bei einer niedrigen Stärke vermerken können. Insbesondere die Empfindlichkeit der Hand zeigt eine gut ausgeprägte Wahrnehmung von besonders geringen Bewegungen der Kontaktfläche. Ist ein einzelner Motor aktiv, kann im Durchschnitt schon ab 1,38 V ein Sinneseindruck erkannt werden. Bei einem Fuß beträgt dieser durchschnittlich 1,98 V und bei zwei Füßen 1,75 V. Deutlich wird, dass der Fuß eine etwas schwächere Empfindlichkeit besitzt als die Hand. Mit dem Fuß konnten die Testpersonen die Vibration etwa 43 % schlechter wahrnehmen.

Es ist davon auszugehen, dass das Eigengewicht des Probanden Einfluss hat. Mit dem Körpergewicht steigt auch die Kraft, die auf die Bodenplatte wirkt, sodass sich diese schwieriger in Bewegung versetzen lässt. Der Vibrationsmotor muss eine höhere Leistung aufbringen. Da bei zwei Füßen das Körpergewicht vollständig auf der Kontaktfläche lastet, kann auch die schlechtere Wahrnehmung erklärt werden. Bei einem Fuß oder bei der Hand ist die aufgebrachte Kraft geringer und der Proband kann die Reize frühzeitiger erkennen. Auf Grund dieser Erkenntnisse wird der Versuch mit der Hand wiederholt und die Probanden gebeten, durch Druck auf die Kontaktfläche eine höhere Belastung zu erreichen. Dabei zeigt sich eine leichte Verschlechterung der Wahrnehmung. Die minimale Stromstärke liegt bei 1,67 V. Trotzdem ist die Empfindlichkeit im Vergleich zum Fuß immer noch höher.

Sobald weitere Motoren hinzugefügt werden, verstärkt sich der vermerkte Sinneseindruck. Die Empfindlichkeit im direkten Umfeld des Fußes ist höher als in weiter entfernten Regionen. Eine Vibration direkt unter dem Fuß ist bereits bei 1,4 V bemerkbar, bei den äußeren Zonen erst ab 2,6 V. Gleiches gilt auch für die Wahrnehmung mit der Hand. Bei der Nutzung von zwei Füßen vergrößert sich das Areal der Empfindlichkeit entsprechend der Auflagefläche. Aus diesen Erkenntnissen lässt sich ein Areal um die Auflagefläche ableiten, in dem Nutzer Vibrationen gut wahrnehmen können.

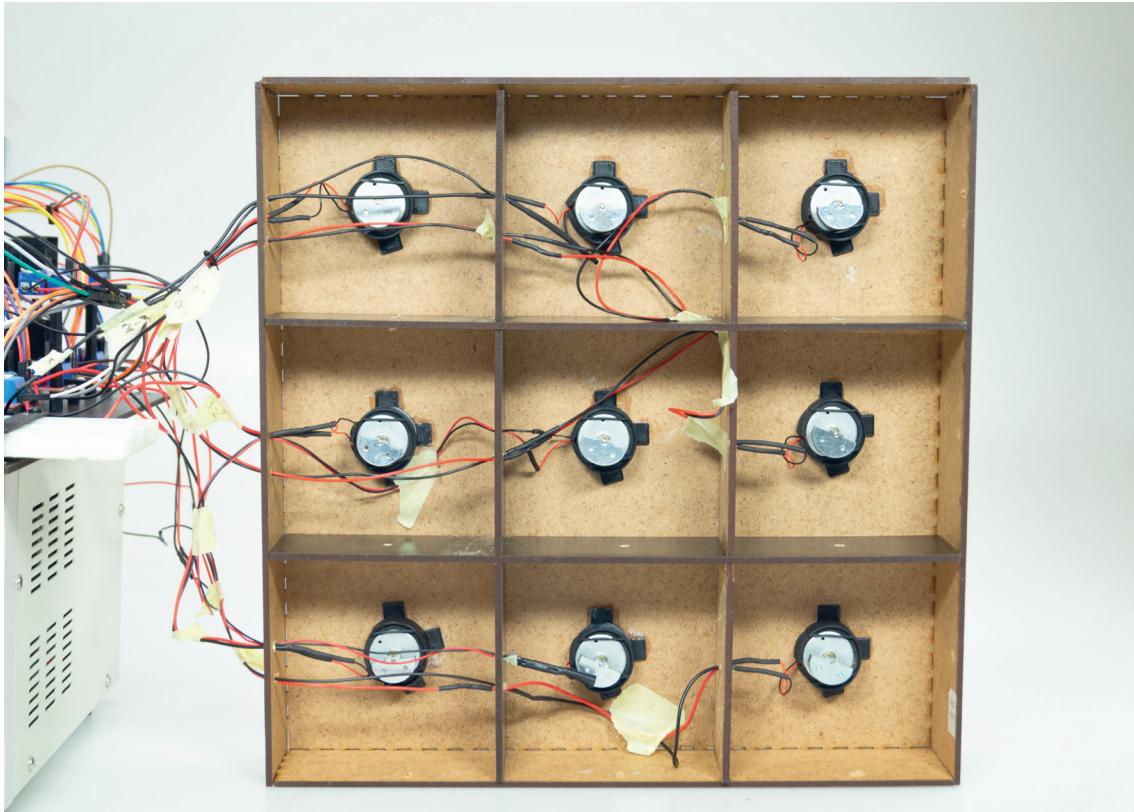


Abb. 23 Innenansicht der Bodenplatte



Abb. 24 Anzeige der Stromstärke

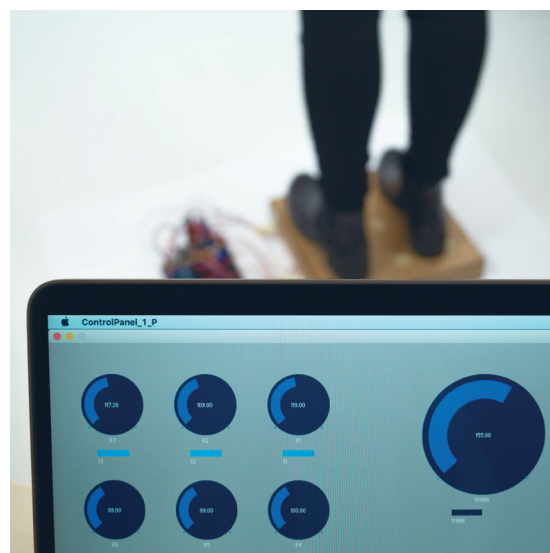


Abb. 25 Software zur Konfiguration der Vibrationsmuster

Konzeption des neuen Informationssystems

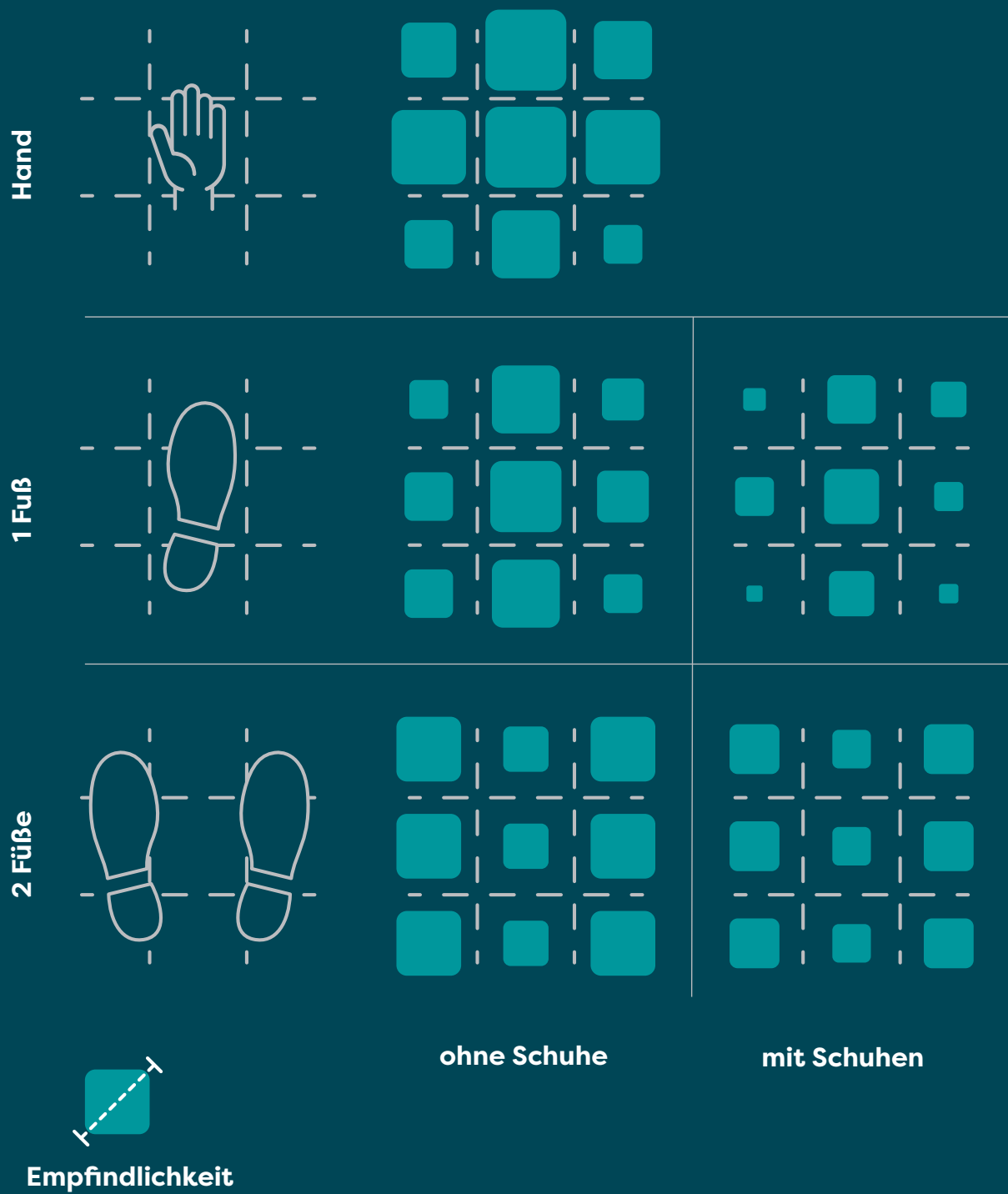


Abb. 26 Darstellung der Messergebnisse zur Empfindlichkeit auf einzelnen Zonen

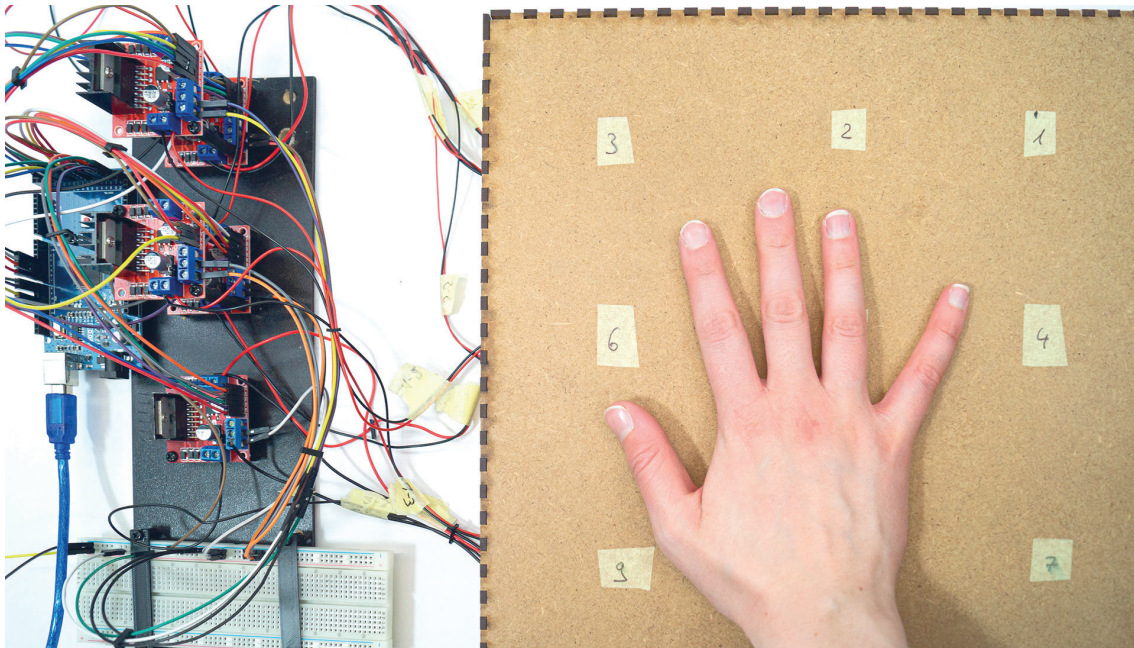


Abb. 27 Referenzmessung mit der Hand

Beim Tragen von Schuhen ist eine deutliche Reduzierung der Empfindlichkeit feststellbar. Auf einer direkten Zone konnte erst bei einer Stromspannung von 2,46 V eine Vibration wahrgenommen werden, bei einer indirekten erst bei 3,56 V.

Der Zusammenhang von objektiver Vibrationsstärke und subjektiver Wahrnehmung ist nicht linear. Es zeigt sich eine deutliche Abschwächung der Sensibilität bei höheren Vibrationsstärken. Bei der Hand können bereits ab 3,2 V die Unterschiede in der Stärke der Vibration nicht mehr genau benannt werden, bei einem Fuß ab 2,7 V. Ob dies ein wirklicher

Unterschied in der Wahrnehmung der einzelnen Extremitäten ist, lässt sich nicht sagen, da bei dem Versuchsaufbau andere Faktoren die Wahrnehmung beeinflussen können, wie zum Beispiel die auf der Kontaktfläche wirkende Gewichtskraft.

Der Versuch verdeutlicht, es gibt eine maximale Wahrnehmungsschwelle, ab der werden Veränderungen der Vibration nur noch schlecht identifiziert. Diese Beobachtung entspricht auch den Erkenntnissen über andere Sinnesmodalitäten. So ist die Wahrnehmung nach dem Fechner'schen Gesetz ebenfalls nicht linear (vgl. Becker-Carus u. Wendt, 2017a, S. 80).

2. Teilversuch – Präzision der Wahrnehmung

Der zweite Teilversuch betrachtet die Genauigkeit der Wahrnehmung. Dazu wird randomisiert ein Feld der Bodenplatte aktiviert. Die Probanden sollen die aktive Zone markieren und ihren Sinneseindruck genauer beschreiben, indem sie die vibrierenden Bereiche des Fußes benennen.

Im Verlauf des Versuches werden zuerst einzelne und dann mehrere Zonen gleichzeitig aktiviert, die sowohl zusammen als auch gegenüber liegen. Die Genauigkeit errechnet sich aus der Gesamtzahl der abgefragten Zonen und der Zahl der korrekten Antworten.

Die Präzision von einer Hand liegt bei 95 %, von einem Fuß bei 62 %, von zwei Füßen bei 73 %. Im Gegensatz zur Empfindlichkeit zeigt die Genauigkeit der Hand einen deutlich besseren Wert als die des Fußes. Trotzdem ist die Wahrnehmung der Füße genau. Größtenteils wird die korrekte Zone identifiziert. Die Probanden sind durchgängig in der Lage, eine grobe Richtungsbeschreibung anzugeben. Zwei Füße auf der Kontaktfläche verbessern die Genauigkeit. Durch die größere Kontaktfläche ist die Anzahl direkter Zonen erhöht und die Nutzer definieren genau die Richtungen der Vibrationen.

Die Präzision wird durch das Tragen von Schuhen stark eingeschränkt. Probanden geben durchschnittlich 16 % weniger eine korrekte Antwort. Jedoch zeigt sich, dass die Nutzer zumeist die grobe Richtung angeben können. Alle Probanden sind in der Lage, eine Einteilung in oben, links, rechts oder unten vorzunehmen. Die Bestimmung einer spezifischen Zone fällt jedoch schwer. Es ist zu vermuten, dass Faktoren wie die Schuhart oder die Sohlendicke einen Einfluss auf die Reizwahrnehmung haben.

Sobald mehrere nebeneinanderliegende Zonen aktiv sind, neigt der Proband dazu, diese zu einer einzelnen zusammenzufassen. Eine klare Trennung der Zonen ist dann nicht mehr möglich. Bei entgegengesetzten Zonen können die Testpersonen die verschiedenen Richtungen nur sehr ungenau bestimmen. Sie geben vorrangig an, dass die gesamte Bodenplatte vibriert.

3. Teilversuch – Wahrnehmung von Mustern

Der dritte Teilversuch untersucht die Wahrnehmung von Mustern. Dazu werden auf dem 3x3-Feld mit Hilfe der Vibration Muster dargestellt: eine vertikale Reihe, eine horizontale Reihe, eine diagonale Reihe, ein Pfeil, ein H sowie ein Viereck. Die Probanden sollen beschreiben, welche Zonen aktiv sind und das dargestellte Muster identifizieren. Sie zeichnen das wahrgenommene Muster auf einer Schablone ein.

Die Auswertung zeigt, dass die Probanden nur sehr eingeschränkt in der Lage sind, Muster zu erkennen. Je nach Muster unterscheiden sich die Ergebnisse. Das Muster H kann nicht identifiziert werden und wird nur als eine großflächige Vibration ohne differenzierbare Elemente beschrieben. Gleiches gilt für das Muster

Viereck. Eine einzelne Reihe ist hingegen von 5 von 9 Testpersonen korrekt definierbar. Die Ergebnisse von horizontalen und vertikalen Reihen sind identisch. Das Muster Pfeil wird bei 2 von 9 Probanden vollständig wahrgenommen, die anderen identifizieren nur eine Vibration in Richtung des Pfeils, ohne die genauen Zonen benennen zu können.

Angesichts der Beobachtungen kann davon ausgegangen werden, dass Muster, die an entgegengesetzten Zonen Reize erzeugen, nur noch als gesamtheitliche Fläche wahrnehmbar sind. Aufgrund der geringen Auflösung des Prototypen mit neun Zonen auf einer 30 x 30 Zentimeter großen Fläche ist es möglich, dass dies die Darstellung von Mustern einschränkt.

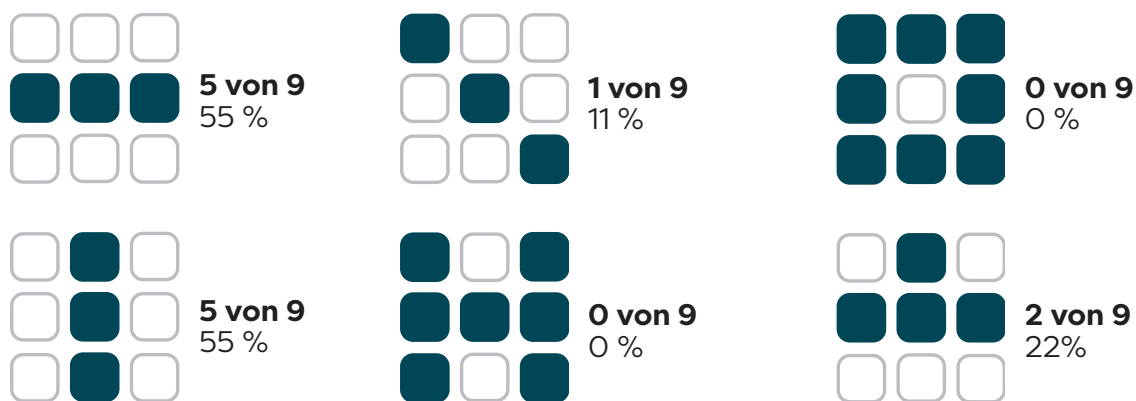


Abb. 28 Anteil erfolgreich wahrgenommener Muster

4. Teilversuch - Wahrnehmung von Animationen

Im vierten Teilversuch werden den Probanden Animationen vorgestellt. Dabei stehen nicht mehr nur statische Eindrücke, sondern dynamisch verändernde Bewegungen im Fokus. Die Testpersonen sollen die Richtung verschiedener Bewegungen beschreiben. Die Animationen sind Wellen von: links nach rechts, oben nach unten, links oben nach rechts unten, außen nach innen, sowie jeweils umgekehrt.

Es zeigt sich, dass gesamtflächige vertikale und horizontale Animationen von den meisten Probanden (9 von 9) eindeutig erkannt werden. Die Animation von außen nach innen sowie umgekehrt, ist ebenso gut identifizierbar. Jedoch ist der Wert hier etwas schlechter (6 von 9).

Einzelne Probanden können erst nach mehrmaliger Wiederholung die Richtung benennen. Diagonale Bewegungen schneiden mit 4 von 9 am schlechtesten ab. Durch eine Anpassung der Charakteristik, bei der die Animation mit Pausen unterbrochen wird, erfolgt die Identifizierung eindeutiger (6 von 9). Auffällig ist, dass die Testpersonen bei der genauen Benennung der Zonen Probleme haben, jedoch eine allgemeine Aussage über den Verlauf der Bewegung treffen können.

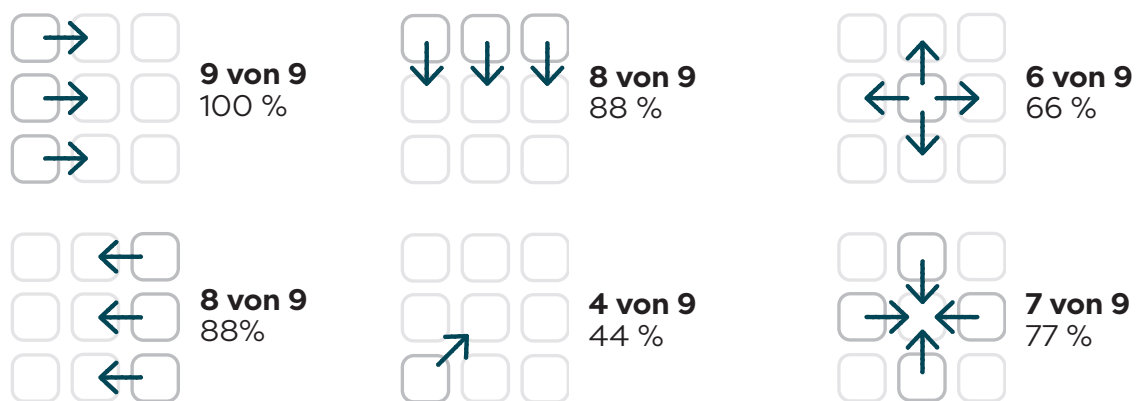


Abb. 29 Anteil erfolgreich wahrgenommener Animationen

5. Teilversuch - Einfluss der Kontaktzeit

Im fünften Teilversuch wird der Einfluss der Kontaktzeit erforscht. Ein durchschnittlicher Schritt eines Menschen hat eine Kontaktauflage von 0,3 Sekunden (vgl. Suppé, 2013a, S. 18).

In dieser Zeit berührt eine Person bei einem normalen Gang den Boden, bis der Fuß wieder angehoben wird. Für die Übertragung von Vibrationen steht nur dieses kurze Zeitfenster zur Verfügung. Um das genauer zu untersuchen, werden die Probanden einer zeitlich begrenzten Vibration ausgesetzt. In vier Intervallen wird die Vibrationsdauer zunehmend begrenzt: von zuerst drei Sekunden auf zwei, eine und abschließend eine halbe Sekunde. Mithilfe einer dafür entwickelten Software lässt sich die Zeitdauer der Vibration genau bestimmen. Die Probanden sollen sowohl den allgemeinen Sinneseindruck beschreiben als auch die Richtung definieren.

Es zeigt sich, dass die zur Verfügung stehende Kontaktzeit Einfluss auf die Wahrnehmung hat. Alle Probanden können den Reiz bei bis zu einer Sekunde wahrnehmen. Ab 0,5 Sekunden erkennen zwei von neun Probanden dies nicht mehr eindeutig. Nach Erhöhung der Vibrationsstärke ist die Wahrnehmung wieder möglich. Sie muss abhängig von der Kontaktzeit entsprechend angepasst werden.

Zusammenfassung

Aus der Exploration 1 lassen sich für die Konzeption des zu entwickelnden Systems folgende Erkenntnisse ableiten:

1. Eine Wahrnehmung von Vibrationen, die durch Unwuchtmotoren erzeugt werden, ist grundsätzlich mit den Füßen möglich. Dabei ist die Empfindlichkeit nur leicht schlechter als die einer Hand.
2. Die Richtung einer Vibration kann in einem begrenzten Radius gut identifiziert werden. Mit zunehmendem Abstand wird die Genauigkeit und Empfindlichkeit schlechter. Eine grobe Richtung kann in fast jedem Fall erkannt werden.
3. Die Musterwahrnehmung ist nur sehr eingeschränkt möglich.
4. Schuhe haben einen deutlich verschlechternden Einfluss auf die Performance. Das Ausmaß ist dabei abhängig von Art und Aufbau des Schuhs.
5. Eine besonders kurze Kontaktzeit beschränkt die Wahrnehmungsfähigkeit, kann aber durch eine Erhöhung der Vibrationsstärke ausgeglichen werden.
6. Grundlegende, rudimentäre, dynamische Vibrationen werden gut erkannt.

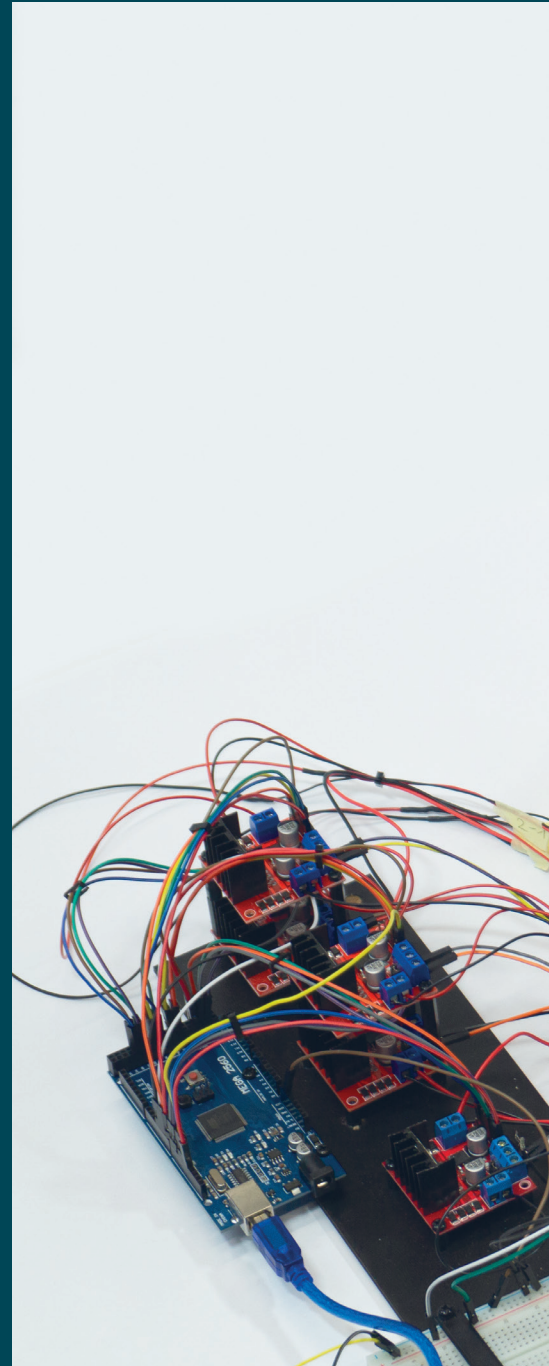




Abb. 30 Durchführung des zweiten Teilversuchs

7.3.2 Exploration 2 - Auswahl eines Vibrationsmotors

Ausgehend von den Erkenntnissen der Exploration 1 ist zu schließen, dass die Wahrnehmung mittels des Fußes möglich ist und dass diese ausreicht, um komplexere Zeichen zu identifizieren. Eine Vibration wird unterschiedlich wahrgenommen. Im Mittelpunkt der Exploration 2 steht die Suche nach einem für das neue System optimierten Vibrationsmotor.

Auf dem Markt gibt es eine Vielzahl solcher Motoren mit unterschiedlichen Eigenschaften. Um jedoch alle Elemente selbst bestimmen zu können, soll ein Gleichstrommotor zu einem Vibrationsmotor umgebaut werden.

Ein Vibrationsmotor erzeugt seine Schwingung durch eine Unwucht. Das bedeutet, dass eine Masse entlang einer Welle nicht zentriert gedreht wird. Durch die auftretenden Fliehkräfte entsteht eine kreisförmige mechanische Schwingung. Es gilt die Formel:

$$F_{zf} = m \cdot \omega^2 \cdot r$$

F_{zf} = Fliehkraft

m = Masse

ω = Winkelgeschwindigkeit

r = Abstand zur Achse

Nach dieser Formel können verschiedene Elemente Einfluss auf die Vibrationskraft haben. Die Masse, ihr Abstand zum Mittelpunkt

der Welle, sowie die Winkelgeschwindigkeit sind dabei relevant. Diese Einflüsse werden auf ihren subjektiven Eindruck untersucht.

Ein Gleichstrommotor wird mit einer modularen Achse ausgestattet, auf der sich in frei wählbaren Abständen Massestücke platzieren lassen. So ist die Charakteristik der Vibration schnell veränderbar. Probanden stehen mit einem Fuß auf der Kontaktfläche der Teststation. Der Vibrationsmotor wird mit einer definierten Stromstärke für zehn Sekunden betrieben. Nach dieser Zeitspanne geben die Testpersonen auf zwei Skalen ihren subjektiven Eindruck zur Vibration an: Stark - Schwach, Angenehm - Unangenehm. Nach jedem Versuchsdurchgang verändert sich die Positionierung und Menge der Massestücke. Es wird immer nur ein Parameter zeitgleich angepasst.

Es zeigt sich, dass der optimale Abstand zwischen Masse und Motorachse auf 10 Millimeter definiert werden kann. Die Masse ist 28 Millimeter von der Mitte der Achse entfernt zu platzieren. Die Dicke der Kontaktfläche beeinflusst die benötigte Masse. Sie wird auf 50 Gramm festgelegt. Anhand dieser Daten lässt sich der optimale Vibrationsmotor für das zu entwickelnde Informationssystem erstellen und mit Hilfe des 3D-Drucks umsetzen.



Abb. 31 Verschiedene Motoren während der Evaluation

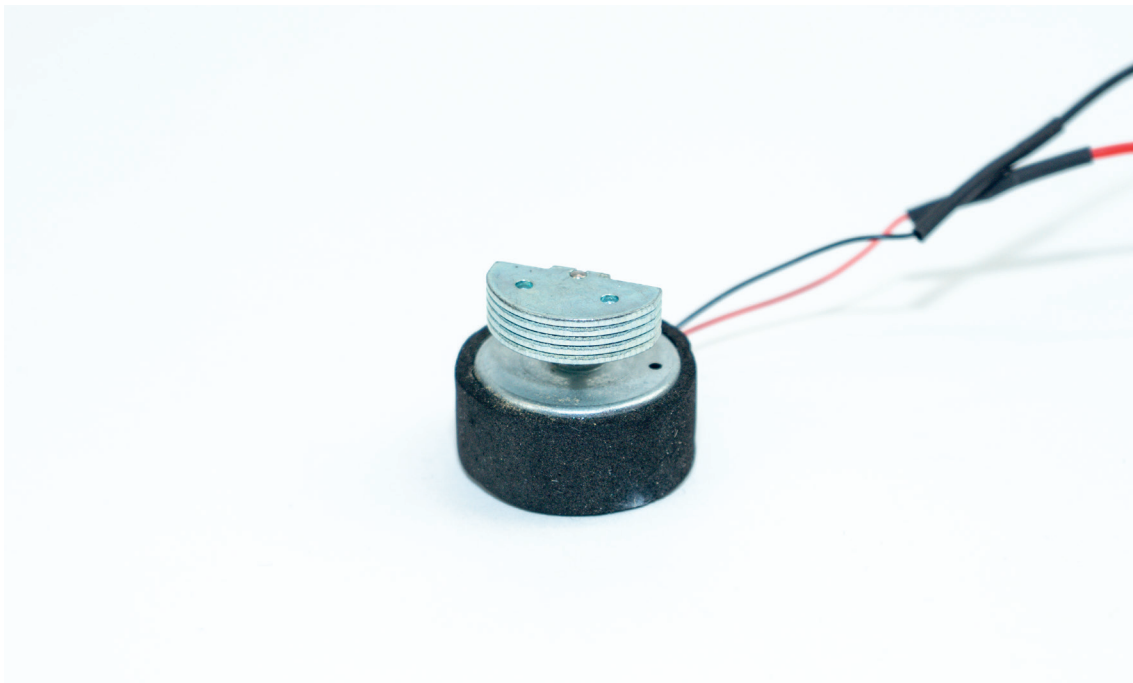


Abb. 32 Vibrationsmotor mit verstellbarer Schwungmasse

7.3.3 Exploration 3 - Subjektives Empfinden von Vibrationen

Die Exploration 3 untersucht das subjektive Empfinden von Vibrationen. Insbesondere betrachtet sie, ob Vibrationsparameter mit spezifischen Emotionen verbunden werden können. Dafür kommt die Technik der Exploration 1 erneut zum Einsatz. Die Hardware bleibt unverändert, jedoch erfolgt eine Modifizierung der Steuerungssoftware, sodass komplexere Vibrationsabläufe programmier- und ausführbar sind. Folgende Parameter gelten als relevant: die Vibrationsstärke, die Vibrationsdauer und die Amplitude zwischen minimaler und maximaler Vibrationsstärke, spezifische Muster, An- und Abschwelen der Vibration. Die Evaluation umfasst insgesamt vier Personen.

Die Probanden spüren Vibrationsmuster mit unterschiedlichen Parametern und geben im Rahmen einer Befragung ihre subjektiven Eindrücke in Form von mehreren Skalen wieder.

Auf Basis von wissenschaftlichen Empfehlungen (vgl. Thomaschewski, J., Hinderks, A. & Schrepp, M., 2018, S. 439f) werden die Dimensionen zur Evaluation der emotionalen Reaktion aus dem meCUE 2.0 Fragebogen abgeleitet (vgl. Minge, M., 2013, o.S.). Bei diesem Fragebogen handelt es sich um ein etabliertes, wissenschaftlich fundiertes Messwerkzeug zur Erfassung einer nutzerzentrierten Bewertung bei technischen Produkten (vgl. Minge, M. & Riedel, L., 2013, S.89-98). Der meCUE 2.0 beinhaltet ein

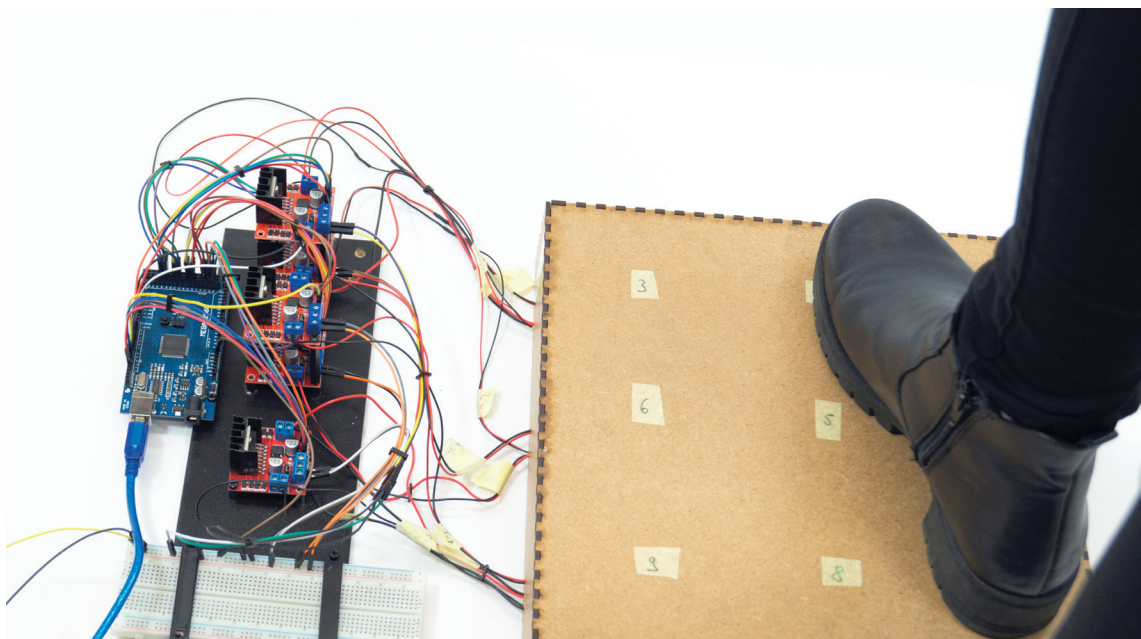


Abb. 33 Durchführung der Exploration 3 mit einem Fuß

explizites Modul zur emotionalen Bewertung von interaktiven Prozessen. Aus der vorgeschlagenen Fragestruktur wird die Nutzerbefragung abgeleitet. Die Skalen sind siebenstufig, um die Tendenz der Mitte zu verhindern. Eine Testperson kann auf eine Angabe verzichten, falls sie keine deutliche Ausprägung verspürt. Die folgenden Dimensionen werden abgefragt:

stark - schwach
dringend - weniger dringend
wichtig - unwichtig,
angenehm - unangenehm
nervig - weniger nervig
entspannend - weniger entspannend
fröhlich - traurig

Aus den Antworten der Probanden ergeben sich für die betrachteten Parameter mehrere Ableitungen. Die Veränderung der Vibrationsstärke hat einen deutlichen Einfluss auf die wahrgenommene Relevanz der Information. Eine hohe Vibrationsstärke geht mit ausgeprägten Werten bei den Dimensionen Wichtigkeit und Stärke einher. Zusätzlich sind diese häufig als stark nervend und als unangenehm bewertet.

Eine kurze Vibrationsdauer wird vorrangig als dringend, wichtig und unangenehm beschrieben. Im Gegensatz dazu ist eine lange Vibrationsdauer entspannend, weniger dringend und angenehm.

Spezifische Muster werden teilweise erkannt, das standardisierte SOS-Zeichen nur vereinzelt. Dies kann aber auch durch ein fehlendes Vorwissen bedingt sein. Die abstrakte Nachbildung eines Herzschlags ist erst nach mehrmaligem Wiederholen identifizierbar.

Eine anschwellende Vibration wird als wichtig definiert, abschwellende Vibrationen hingegen als entspannend, nicht so wichtig und nicht dringend. Eine starke Amplitude zwischen stark und schwach verbinden die Probanden mit einem unangenehmen Gefühl. Wenn die Amplitude kleiner ist, benennen sie diese häufig als entspannend.

7.4 Aufbau und Konzept

7.4.1 Modulation der Vibration

Aus den Erkenntnissen der Exploration 2 und 3 wird deutlich, dass mehrere Vibrationsmerkmale identifiziert werden können, die die Nutzer eindeutig zuordnen und ausreichend gut unterscheiden. Dabei werden einzelne Eigenschaften mit subjektiven Eindrücken verbunden. Durch diese Zuordnung ist es möglich, Merkmale einer Information in die Charakteristika einer Vibration zu übertragen. Das System moduliert prozedural aus den vorgegebenen Informationsdaten spezifische Vibrationen. Die einzelnen Eigenschaften vermischen sich automatisch zu einem taktilen Eindruck. Folgende Attribute einer Information werden interpretiert und berücksichtigt: Wichtigkeit, Dringlichkeit, Richtung, Charakter, Selektion, Varianz, Gewichtssensitivität.

Wichtigkeit

Die Wichtigkeit drückt die allgemeine Relevanz einer Information aus. Das System kann diese stufenlos beeinflussen. Sie ist vor allem abhängig von der ausgehenden Gefährdungslage. Je gefährlicher eine bevorstehende Situation sein wird, desto stärker weist das System auf diese hin. Zur Codierung der Eigenschaft kommt vorrangig die Vibrationsstärke zum Einsatz. In der Exploration 1 ist zu beobachten, dass die Probanden diese gut voneinander unterscheiden können. Ebenso wird eine starke Vibration mit einer hohen Wichtigkeit verknüpft und als stark nervend und unangenehm beschrieben. Durch Veränderung der Stromstärke ist die Geschwindigkeit der Vibrationsmotoren zu beeinflussen und eine stärkere oder schwächere Vibration zu erzeugen.

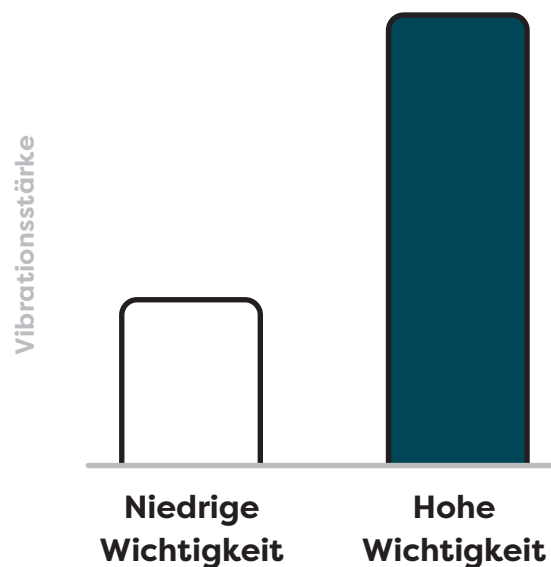


Abb. 34 Visualisierung der Vibrationsstärke

Bei einer dauerhaften, gleichbleibenden Vibration setzt ein Gewöhnungsprozess bei den Testpersonen ein und sie fühlen sich weniger stark angesprochen. Aus diesem Grund werden Vibrationen durch Pausen unterbrochen. Jedoch sind sie nicht komplett deaktiviert, sondern nur gemindert. Dadurch entsteht eine Amplitude zwischen minimaler und maximaler Ausprägung. Eine besonders hohe Differenz ist als stärkere Vibration wahrzunehmen und somit ebenso Bestandteil der Modulation der Wichtigkeit.

Die Vibrationsstärke ist in ihrem Maximum und Minimum begrenzt. In der Exploration 1 zeigt sich bei sehr starken Vibrationen eine deutliche Abnahme der Präzision und der Unterscheidungsfähigkeit. Außerdem darf das System keine aktive Gefahr für eine Person darstellen, indem sie möglicherweise durch eine zu starke Vibration im Gleichgewicht beeinflusst wird. Aus diesem Grund ist eine maximale Kraft definiert, die das System ausüben darf. Ebenso existiert ein unteres Minimum, da erst ab diesem Wert eine zuverlässige Wahrnehmung bei den Probanden mit Schuhen nachgewiesen ist.

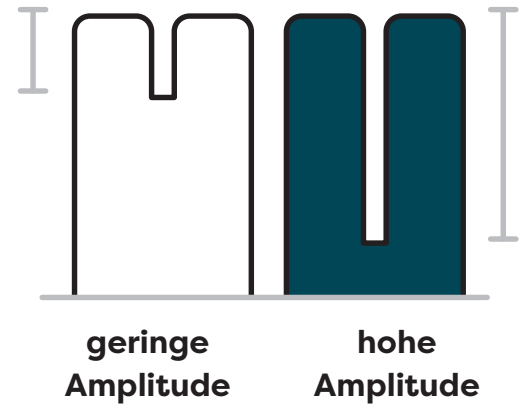


Abb. 35 Visualisierung der Vibrationsamplitude

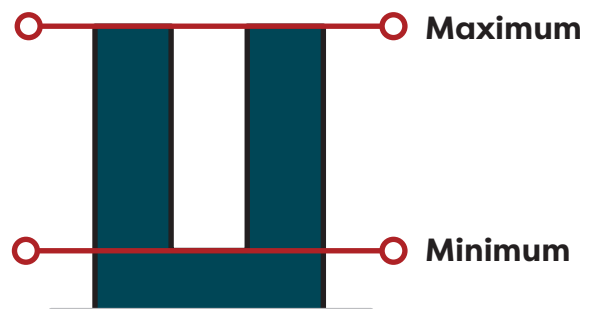


Abb. 36 Visualisierung der Begrenzung minimaler und maximaler Vibrationsstärke

Dringlichkeit

Neben der allgemeinen Relevanz einer Information besitzt diese auch eine zeitliche. Dabei wird betrachtet, wann die übertragene Information für eine Person wichtig ist. Je unmittelbarer desto höher ist die Dringlichkeit.

Zur Modulation passt das System die benannten Pausen in der Vibration an und verkürzt oder verlängert sie. Besonders kurze Pausen sind zeitlich näher und wirken auf eine Person dringender. Bei langen Pausen ist die Information weniger zeitkritisch.

Die Erhöhung der Frequenz ist nicht nur mit einer zeitlichen Komponente verknüpft. Die Exploration 1 zeigt, dass sie auch eine höhere subjektive Vibrationsstärke erzeugt. Dieses Phänomen ist durchaus gewollt, da eine Dringlichkeit auch mit einer höheren allgemeinen Wichtigkeit einhergeht. Damit die Struktur der Vibration bestehen bleibt, ist die Frequenz in ihrem Minimum und Maximum begrenzt.

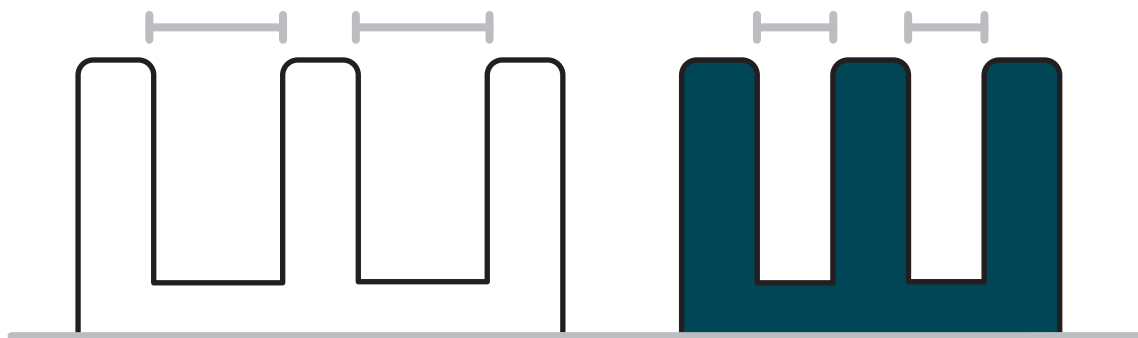


Abb. 37 Visualisierung der Vibrationsfrequenz

Richtung

Ein Reiz löst im Menschen ein Orientierungsverhalten aus, den sogenannten Taxis. Das bedeutet, dass eine Person instinktiv auf die Einwirkung eines Reizes reagiert und sich zu dessen Richtung orientiert (vgl. Brockhaus, Taxien [Biologie], o. J., o. S.). Diese automatische Reaktion ermöglicht die Modulation von Richtungen. Die Richtung wird nicht nur in einer kognitiven Übertragungsleistung erkannt, sondern direkt durch die automatische Reaktion. Die Exploration 1 zeigt, dass die Probanden in der Lage sind, Richtungen in den meisten Fällen zu identifizieren. Dies erlaubt eine Richtung in die Vibration einzuarbeiten.

Eine spezifische Richtung wird an einem einzelnen Fuß vermittelt. Seine Außenseiten können durch Aktivieren der entsprechenden Zonen direkt angesprochen werden, sodass entweder der linke, rechte, obere oder untere Teil entsprechend vibriert. Nutzer erkennen die Richtung und verknüpfen die Information mit einer örtlichen Codierung. Diese Art der Codierung benötigt jedoch eine hohe Auflösung der Reizwahrnehmung, weil sie sonst in bestimmten Situationen zu falschen Ergebnissen führen kann. Vor allem das Tragen von Schuhen verschlechtert die Präzision der Wahrnehmung deutlich.

Das System verwendet für die Darstellung der horizontalen (links, rechts) und vertikalen (oben, unten) Richtung jeweils ein unterschiedliches Verfahren.

Die Fußlänge ist ausreichend, um vertikale Richtungen an einen einzelnen Fuß abzubilden. Dabei spricht das System entweder den vorderen oder hinteren Teilbereich des Fußes an. Wegen der zu geringen Breite eines Fußes sind horizontale Richtungen an einem einzelnen Fuß aber nur schwer vermittelbar.

Um dies trotzdem zu erreichen, werden die Richtungen auf den gesamten linken bzw. rechten Fuß getrennt voneinander angewendet und damit nur an dem entsprechenden Fuß ausgelöst. Zum Beispiel wird die Richtung links durch die alleinige Ansprache des linken Fußes übertragen. Durch die Kombination der beiden Verfahren können auch Richtungen, wie oben-links oder oben-rechts, dargestellt werden ohne die Auflösungsfähigkeit zu übersteigen.

Vermittlung einer horizontalen Richtung

Es wird der gesamte Fuß entsprechend der Richtung angesprochen.



Vermittlung einer vertikalen Richtung

Es werden die oberen Teile beider Füße angesprochen.



Abb. 38 Darstellung der Richtungsvermittlung durch die Aktivierung einzelner Zonen

Charakter

Die prozedural generierten Reize vermitteln verschiedene Eigenschaften, sind jedoch in ihrer Varianz eingeschränkt. Sie sind direkt als solche erkennbar und nach den Prinzipien der Signaletik auch ohne Vorwissen identifizierbar (vgl. Stapelkamp, 2013, S.300f). Durch die Implementierung eines Charakters wird die Vibration um zusätzliche Informationen erweitert. Das sind spezifische, vordefinierte Muster und Animations-Abfolgen, die ein Signal erlernbar machen.

Die Nutzer erkennen diese gleichbleibenden Muster und verknüpfen sie mit den dazugehörigen Informationen. Dadurch erweitern sich die Einsatzmöglichkeiten des Systems um komplexere Informationen, die nicht rein prozedural generierbar sind. Die Charaktere können bekannte Muster aufgreifen und damit verbundene Assoziationen nutzen, wie zum Beispiel die Abfolge eines Herzschlages oder des SOS-Zeichens.

Selektion

Die Vibrationen werden gerichtet, indem nur die gerade benötigten Zonen aktiv sind. So lassen sich Informationen an spezielle Nutzer oder Nutzergruppen übertragen. Die Selektion der relevanten Zielgruppe ist eine wichtige Dimension, die in den gegenwärtigen öffentlichen Informationssystemen nicht möglich ist.

Integrierte Variablen

Zusätzlich zu den Eigenschaften, die sich aus der Information ableiten, nutzt das System noch zwei weitere Aspekte in der Modulation der Vibration: Varianz und Gewichtssensitivität. Diese verarbeitet das System unabhängig von der Information automatisch.

Gewichtssensitivität

Aus der Physiologie des Gangs ist abzuleiten, dass die Auftrittskraft eng mit der Geschwindigkeit einer Person zusammenhängt. Die Höhe der Geschwindigkeit bedingt die Schrittfrequenz und führt zu einer kürzeren Kontaktzeit des Fußes. Hierdurch verschlechtert sich die Wahrnehmung nach den Erkenntnissen der Exploration 1. Ebenso erhöht sich die Auftrittsenergie auf die Bodenplatte, sodass es den Motoren schwer fällt, die Zone in Vibration zu versetzen. Dieses Phänomen ist auch bei einer

erhöhten Gewichtsbelastung zu beobachten. Durch die Verstärkung der Vibrationen kann dieser Effekt ausgeglichen werden. Das System misst durch Wägezellen die Belastung auf jeder einzelnen Zone. Mit Hilfe der Daten wird die Vibrationsstärke dementsprechend automatisch moduliert und die verschlechterte Wahrnehmung ausgeglichen.

Varianz

Falls das System keine Reaktion des Nutzers identifizieren kann, verändert es die Vibration. Dabei kann es abhängig von der Relevanz der Informationen kurzzeitig Vibrationseigenschaften anpassen und die Salienz verstärken. Ziel ist es, die Aufmerksamkeit der Person zu erlangen. Bei anhaltend ausbleibender Nutzerreaktion eskaliert das System den ausgelösten Reiz im Sinne einer Kaskade.

7.4.2 Informationstyp

Die Informationen, die das neue System übertragen kann, sind in Typen kategorisiert. Diese haben verschiedene Anwendungsfälle und unterscheiden sich in ihren Charaktereigenschaften. Informationen können in ihrem Typ fließend ineinander übergehen. Sie sind nicht an ihre Art gebunden, sondern adaptiv und passen sich äußeren Faktoren an. Folgende sind definiert: Mitteilung, Hinweis, Warnung, Verbot.

Mitteilung

Eine Mitteilung beschreibt Daten, die ständig verfügbar und allgemein relevant sind. Sie hat eine untergeordnete Wichtigkeit, ist nicht an bestimmte dynamische Elemente geknüpft und zeitlich ungebunden. Daraus moduliert sich eine schwache Vibration mit nur leichter Amplitude und geringer Frequenz. Eine Richtung kann hinzugefügt werden, ist aber meist nicht Teil des Reizes.

Hinweis

Ein Hinweis beinhaltet eine Information, die zum Zeitpunkt der Vermittlung noch eine untergeordnete Wichtigkeit hat und erst kontextabhängig im Verlauf möglicherweise Relevanz gewinnt. Als Vorstufe einer Warnung kann er eine abstrakte Gefahr vermittelt, die erst in der näheren Zukunft konkret wird.

Warnung

Eine Warnung repräsentiert eine Information, die eine zeitliche Relevanz und eine hohe Bedeutung hat. Sie benötigt die sofortige Aufmerksamkeit. Hier geht das neue System von einer unmittelbaren Gefahr aus. Die Personen werden mit größtem Nachdruck darauf aufmerksam gemacht. Dabei nutzt es eine starke Vibration mit hoher Amplitude und Frequenz. Falls richtungsgebende Informationen verfügbar sind, werden diese zusätzlich verknüpft. Bei ausbleibender Reaktion der Person wird durch Varianz und Kaskade des Reizes der Sinneseindruck verstärkt.

Verbot

Ein Verbot ist eine ständig präsente Information. Sie ist zeitlich unabhängig, aber immer von hoher Wichtigkeit. Das neue System moduliert eine starke Vibration, die durch eine langsame Frequenz dominiert ist.





Abb. 39 Markierung eines nicht zu betretenden Bahnsteigbereichs

Das neue System reagiert kontextsensitiv in der Bewertung von Informationen und muss die Vibrationsmodulation ständig überprüfen und gegebenenfalls anpassen. Eine Information ist nicht an ihren Typen gebunden, sondern wechselt dynamisch auf Grundlage des Kontextes.

Als Beispiel gilt hier eine Bahnsteigkante. Ihre unmittelbare Nähe unterliegt während des Zugbetriebs einem Verbot. Wenn sich Personen in diesem Bereich aufhalten, besteht ein potenzielles, theoretisches Risiko. Es handelt sich um eine Gefahr ohne direkten zeitlichen Bezug.

Beim Einfahren eines Zuges geht das Risiko von einer abstrakten in eine konkrete Gefahr über. Das System muss den Kontext der Situation entsprechend neu bewerten und wechselt den

Typ der Information von Verbot zu Warnung. Eine unmittelbare Bedrohung ist nun mit dem Betreten der Zone verbunden. Personen, die sich dort aufhalten, müssen eindringlich gewarnt werden. Es besteht sowohl eine Wichtigkeit als auch Dringlichkeit, die bei der Modulation der Vibration berücksichtigt wird.

Sobald der Zug zum Stillstand kommt, geht von der Zone vorerst keine Gefahr mehr aus und kann betreten werden. Das System verwendet nun Mitteilungen, um Passagiere automatisch in Richtung der Zugtüren zu leiten. Nach Schließen der Zugtüren besteht wieder eine konkrete und unmittelbare Gefahr in der Bahnsteigzone. Das System spricht erneut eine Warnung aus. Dieses Beispiel zeigt, dass sich durch die prozedurale Generierung der Vibration komplexe Zustände beliebig abbilden lassen.

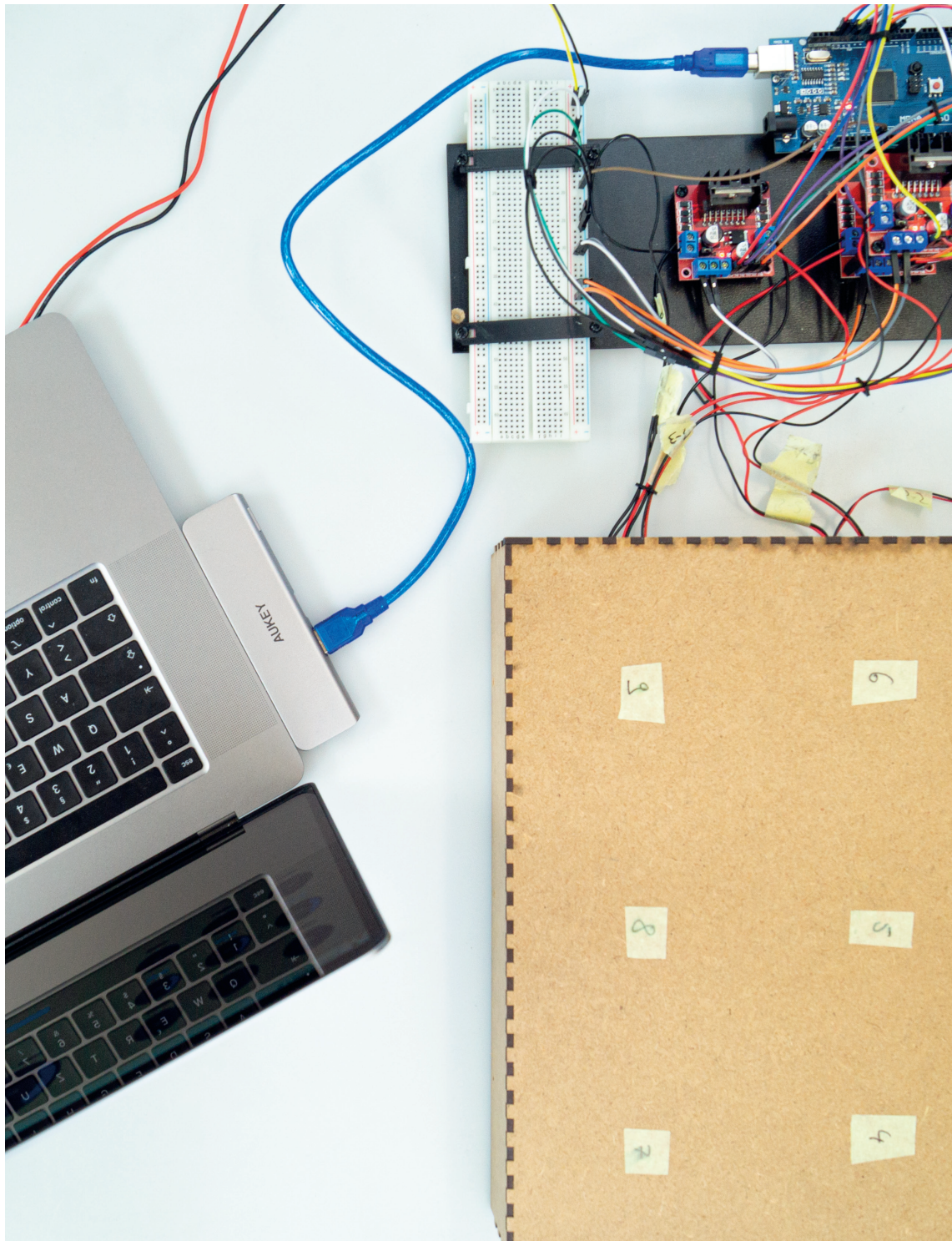
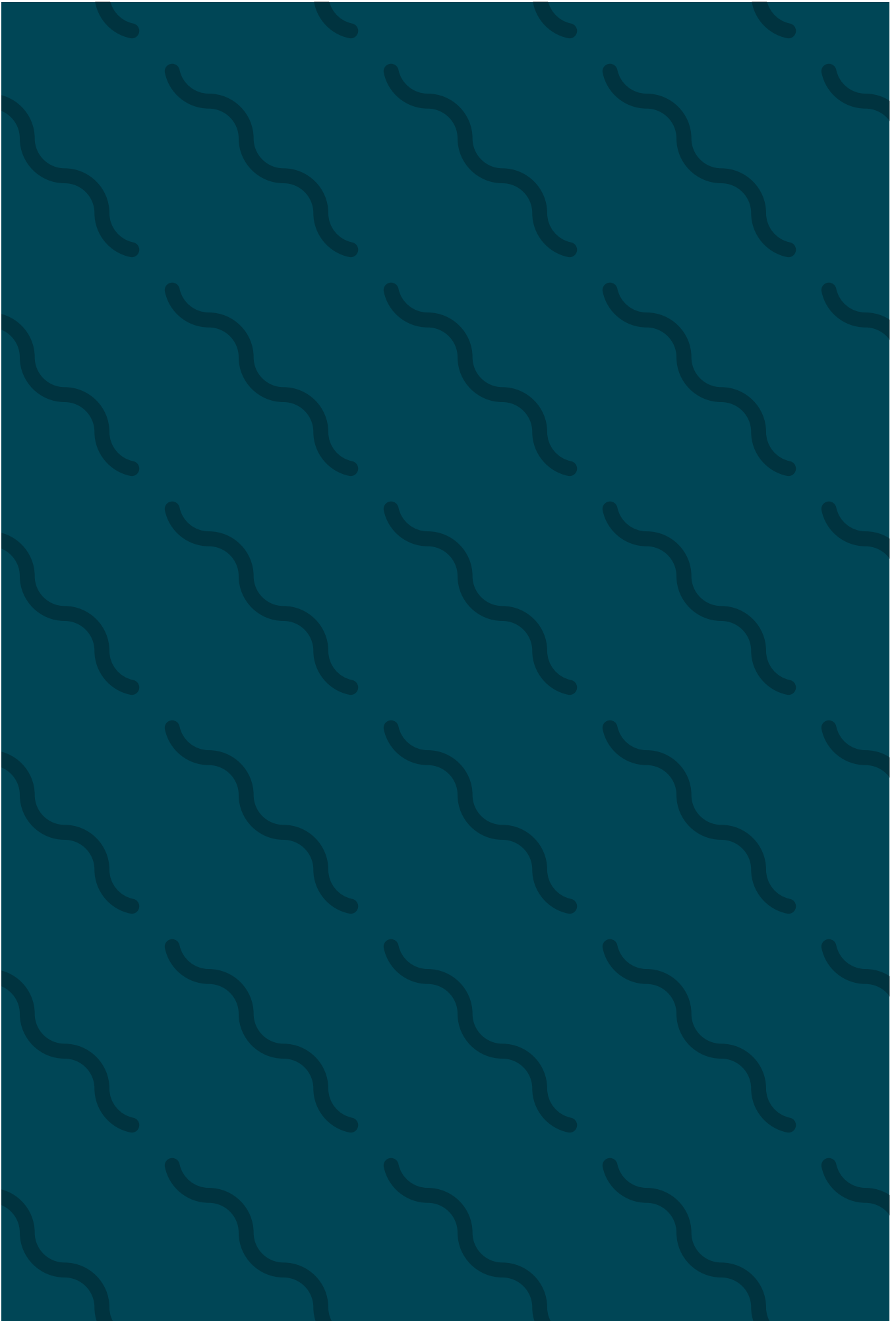


Abb. 40 Versuchsaufbau der Explorationen 1 und 3



8

Technische Umsetzung des neuen Informationssystems



Technische Umsetzung des neuen Informationssystems

Das erarbeitete Konzept ist anhand der Erkenntnisse aus den Explorationen und den wissenschaftlichen Grundlagen als Prototyp umgesetzt. Dabei sind die verschiedenen Funktionen des Systems abgebildet. Er besteht aus neun einzelnen modularen Kacheln sowie einer Steuerungszentrale. Die Kacheln werden

mit magnetischen Steckverbindungen zu einer Bodenplatte zusammengesetzt und können in 18 separaten Zonen taktile Reize erzeugen. Gesteuert wird das System von einer zentralen Software, die ein Computer ausführt. Sie koordiniert die einzelnen Kacheln und ermöglicht deren Zusammenarbeit.

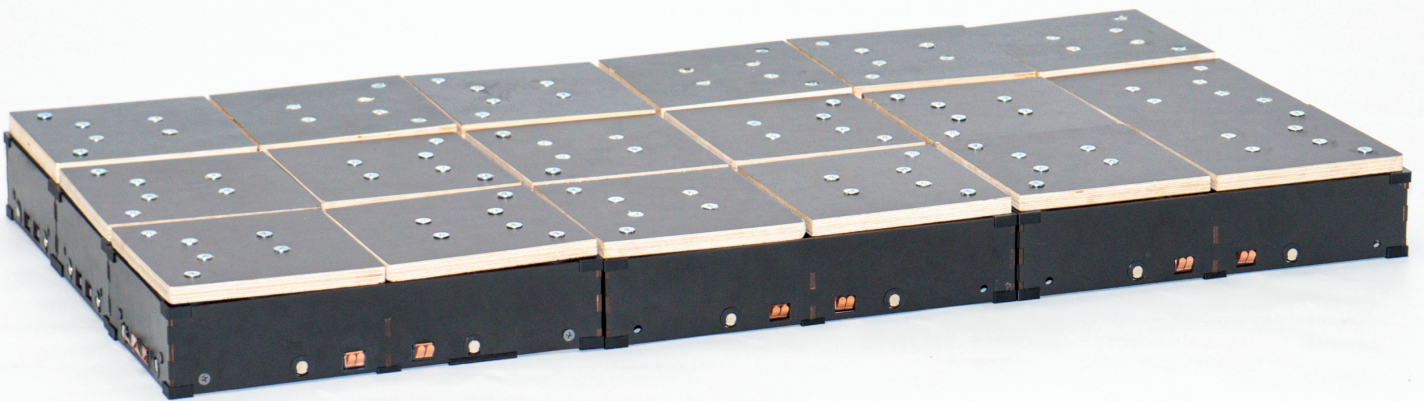


Abb. 41 Außenansicht der Bodenplatte

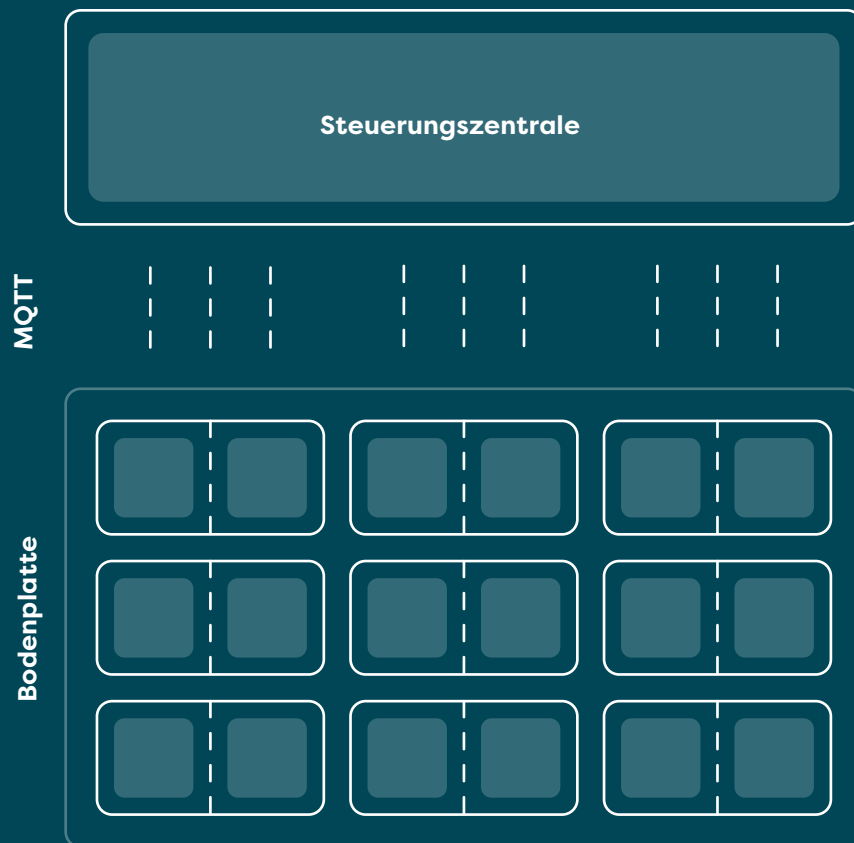


Abb. 42 Aufbau des neuen Informationssystems als schematische Darstellung



Abb. 43 Nutzer steht auf der Bodenplatte



Abb. 44 Magnetische Steckverbindung

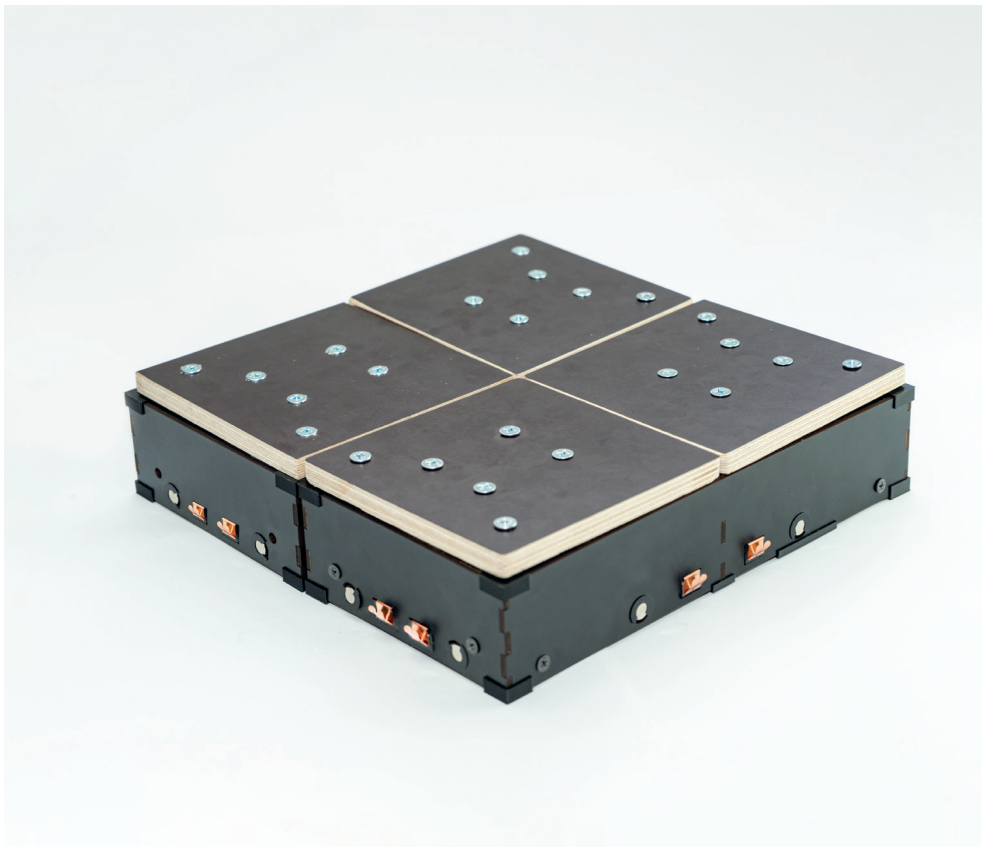


Abb. 45 Zwei zusammengeschlossene Kacheln

8.1 Bodenplatte

8.1.1 Grundaufbau

Die Bodenplatte setzt sich aus neun Kacheln zusammen, die jeweils 30 Zentimeter breit, 15 Zentimeter tief und 6 Zentimeter hoch sind. Sie sind vollständig autonom und können unabhängig voneinander agieren. Eine der Kacheln fungiert als Basiskachel und besitzt einen Stromanschluss. Über die Steckverbindungen werden die übrigen Kacheln in einer Parallelschaltung mit Strom versorgt.

Eine Kachel besteht aus zwei 15 x 15 Zentimeter großen Multiplex-Platten, auf denen der Nutzer steht. Diese lagern auf jeweils drei Kanthölzern und werden durch einen Gummi-Metall-Puffer von dem Rest der tragenden Struktur isoliert.

Zwei der Kanthölzer sind fest mit der Platte verschraubt, während das dritte lose aufliegt. Dort befindet sich eine Wägezelle zur Gewichtsmessung. An der Unterseite der Multiplexplatten sind die Vibrationsmotoren mit Hilfe von 3D-gedruckten Halterungen befestigt. Dadurch ist die Vibrationsquelle nah am Fuß des Nutzers und überträgt die mechanische Kraft mit möglichst geringen Verlusten. Ein Gehäuse aus mitteldichten Holzfaserplatten umgibt die gesamte Kachel, trägt aber nur indirekt zur strukturellen Festigkeit bei. Es dient vorrangig der Konstruktionsverkleidung sowie der Montage der elektrischen Komponenten.

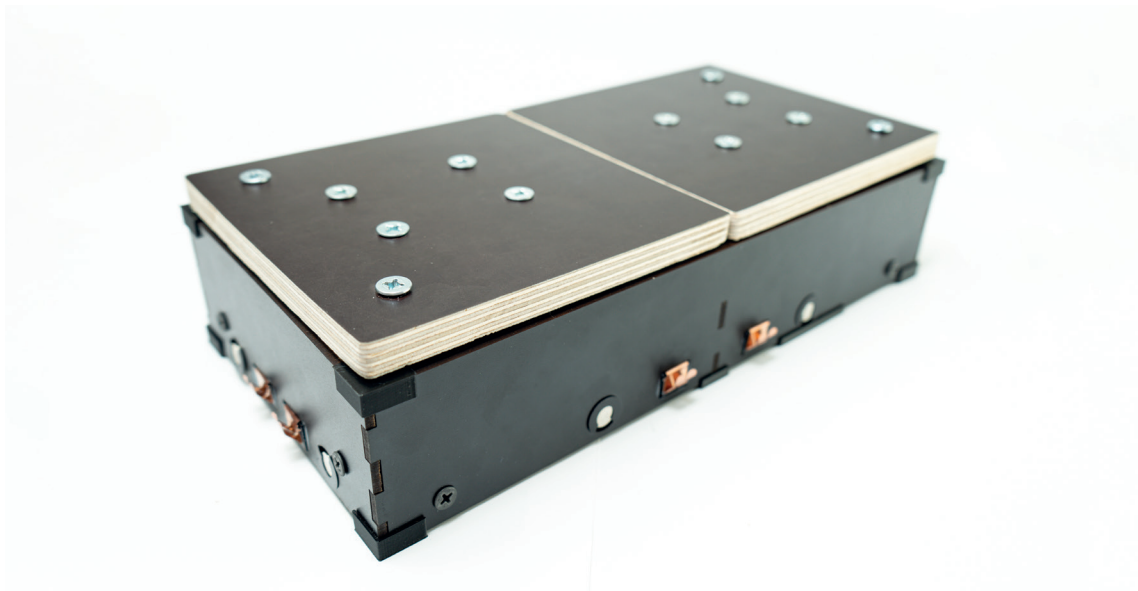


Abb. 46 Einzelne Kachel mit zwei taktilen Zonen

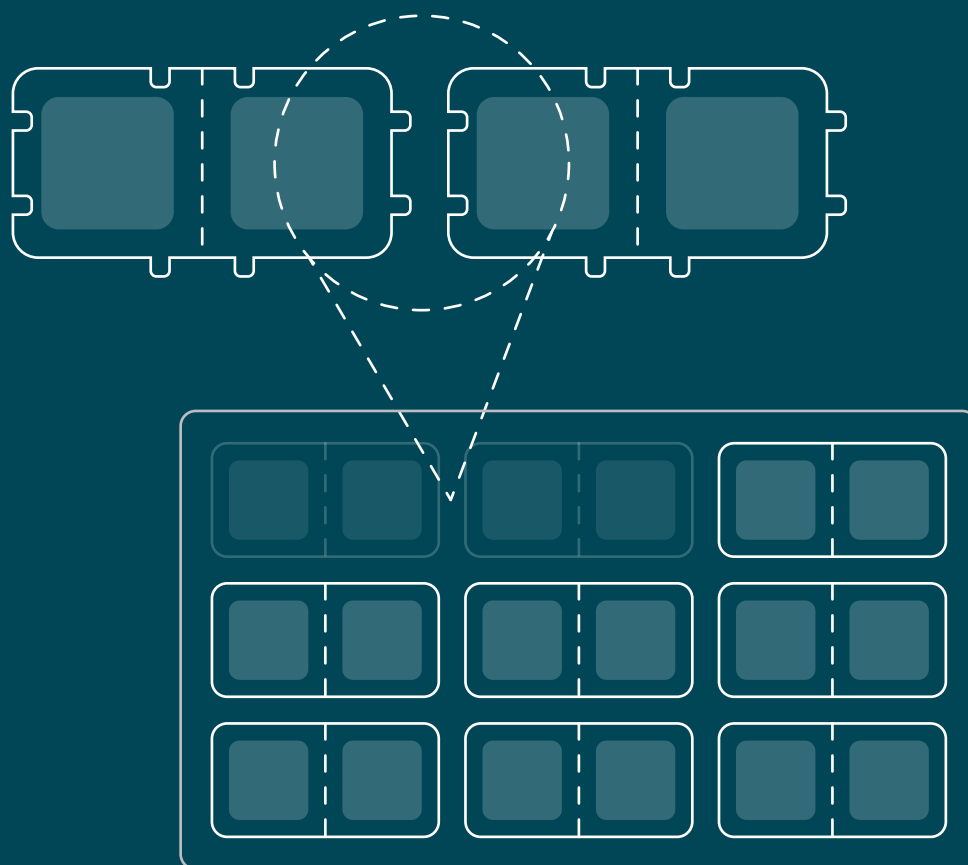


Abb. 47 Schema der modularen Steckverbindung einzelner Kacheln

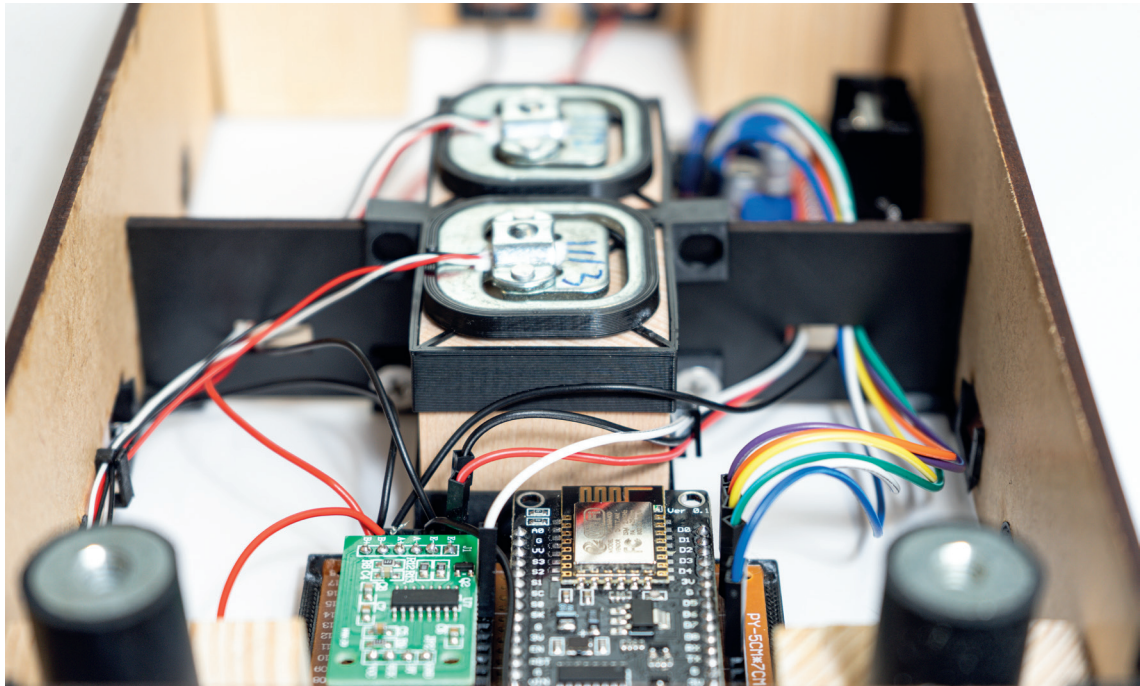


Abb. 48 Innenansicht einer Kachel

Die Auflösung des Systems beträgt durch die Zonengröße horizontal und vertikal 15 Zentimeter. Die Größe leitet sich aus der ermittelten Erkennungsgenauigkeit der Exploration 1 und dem in der Forschung gemessenen Auflösungsvermögen eines Fußes ab. Vor allem durch das Tragen von Schuhen ist der Reizeindruck ungenauer, sodass eine höhere Auflösung für diesen Prototypen vorerst impraktikabel ist. Der Zusammenschluss zweier Zonen zu einer Kachel ermöglicht die Nutzung eines einzelnen Micro- sowie Motorcontrollers, da sie jeweils zwei Gleichstrommotoren ansteuern können.

Im Inneren der Kachel steuert der 32-Bit-Mikrocontroller ESP8266 die gesamte Kachel (vgl. Espressif, o. J., o. S.). Hierfür regelt er die Vibration, liest die Daten der Wägezelle aus und kommuniziert mit der Steuerungszentrale. Der ESP8266 eignet sich für die Aufgabe durch die Integration einer WiFi-Kommunikationsschnittstelle und der breiten Verfügbarkeit. Auf dem Controller wird das freie Betriebssystem NodeMCU (vgl. NodeMcu Team, o. J., o. S.) eingesetzt und mit Arduino/C++ (vgl. Arduino, cc, o. J., o. S.) programmiert.

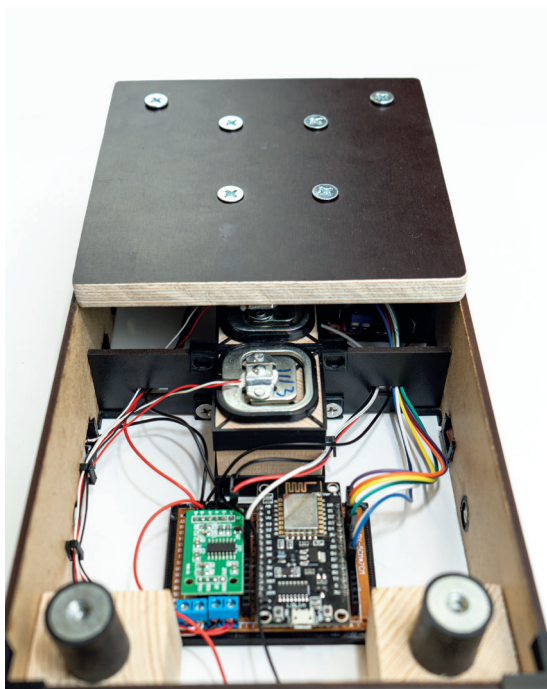


Abb. 49 Montierte Kontaktfläche

Zur Steuerung der beiden Vibrationsmotoren kommt der L298N (vgl. STMicroelectronics, o. J., o. S.) als Motorcontroller zum Einsatz. Durch die Kombination von vier Transistoren in einer H-Form kann dieser einen Gleichstrommotor steuern und in beide Richtungen rotieren. Der L298N kombiniert zwei H-Brücken, sodass die parallele Steuerung von zwei Motoren ermöglicht wird.

Eine Wägezelle misst die Gewichtsbelastung der Kachel, um Nutzer zu identifizieren. Zum Auslesen der Daten wird der 24-Bit-Digital-Analog-Converter HX711 (vgl. Avia Semiconductor, o. J., o. S.) genutzt.

Die einzelnen Kacheln bilden ein modulares System und verbinden sich durch magnetische Steckverbindungen, die gegensätzlich an den vier Außenseiten der Kacheln in einer Male-Female-Konfiguration angebracht sind. Zusätzliche Magnete erleichtern das Zusammenstecken und verstärken die Verbindung. Die Anordnung der einzelnen Module ist frei wählbar und kann in verschiedene Formen gebracht werden. Dadurch ist das System der Umgebung anpassbar.

Der Prototyp wird in der CAD-Software Autodesk Fusion 360 (vgl. Autodesk, o. J., o. S.) digital konstruiert und konzipiert. Anhand der Planung können alle benötigten Komponenten im Vorhinein definiert und durch Simulationen getestet werden. Aus den generierten Daten lassen sich die einzelnen Elemente ableiten und entweder für das Lasercutting (vgl. Brockhaus, Schneiden (Fertigungstechnik), o. J., o. S.) oder den 3D-Druck (vgl. Brockhaus, dreidimensionaler Druck (Werkstofftechnik), o. J., o. S.) vorbereiten.

8.1.2 Erzeugung der taktilen Reize

Das Ziel des Systems ist es, einen taktilen Reiz zu erzeugen. Dieser muss ausreichend ausgeprägt sein, damit er die Schuhsohle durchdringen kann und trotz der Belastung durch das Körpergewicht wahrnehmbar ist. Ausgehend von den wissenschaftlichen Erkenntnissen sowie den Ergebnissen der Exploration 1 gibt es eine Empfindlichkeit gegenüber Vibrationen. Zudem lassen sich durch Vibrationsmotoren starke mechanische Kräfte in einer kleinen Bauweise erzeugen. Die Kombination dieser Eigenschaften macht sie optimal für den begrenzten Raum in den einzelnen Zonen der Bodenplatte.

Vibrationen sind mechanische Schwingungen in Stoffen und Körpern. Zu ihrer Erzeugung kommen verschiedene Technologien zum Einsatz. Für den Prototypen werden zwei Technologien in Betracht gezogen: Linear Resonant Actuator (LRA) - sowie Eccentric Rotating Mass (ERM) - Vibrationsmotoren (vgl. Percision Microdrives, o. J., o. S.).

LRA-Vibrationsmotoren besitzen ein feder-gelagertes Massestück, das durch einen Elektromagneten in Bewegung versetzt wird und so eine Vibration erzeugt. Diese lässt sich präzise steuern und kann sehr genaue Vibrationsmuster abbilden. Ein Beispiel für eine solche Technologie ist die Taptic Engine der Firma Apple, die in verschiedenen Geräten wie iPhones und MacBooks zum Einsatz kommt (vgl. Wuerthele,

2017, o. S.). Jedoch ist die Stärke der Vibration bauartbedingt eingeschränkt. Sie reicht nicht aus, um bei Belastung einen wahrzunehmenden Reiz durch eine Schuhsohle zu erzeugen.

Aus diesem Grund nutzt das System einen ERM-Vibrationsmotor. Das ist ein Gleichstrommotor, an dessen Welle ein Massestück exzentrisch zu der Achse befestigt ist. Die Unwucht erzeugt durch die auftretenden Fliehkräfte eine kreisförmige mechanische Schwingung. Die Steuerung ist zwar ungenauer als bei LRA-Motoren, jedoch lassen sich viel stärkere Vibrationen erzeugen.

Das Angebot von Vibrationsmotoren ist vielfältig. Sie unterscheiden sich unter anderem in der maximalen Umdrehung, der Vibrationsstärke, der Masse, der Leistungsaufnahme oder Betriebsspannung. Das System benötigt eine möglichst starke Vibration, bei geringer Baugröße und Leistungsaufnahme. Die Untersuchung von acht verschiedenen Vibrationsmotoren ergibt, dass keiner alle gewünschten Eigenschaften erfüllt. Aus diesem Grund wird ein eigener Vibrationsmotor im Rahmen der Exploration 2 konzipiert und entwickelt. Grundlage ist der JOHNSON 01604 12V Gleichstrommotor. Er erzeugt eine ausreichend hohe Drehzahl mit 4501 U/min und ist durch seine breite Betriebsspannung von 1,5 bis 14 Volt durch die H-Brücke präzise steuerbar (vgl. Johnson Electric Industrial Manufactory, 2005, o. S.).

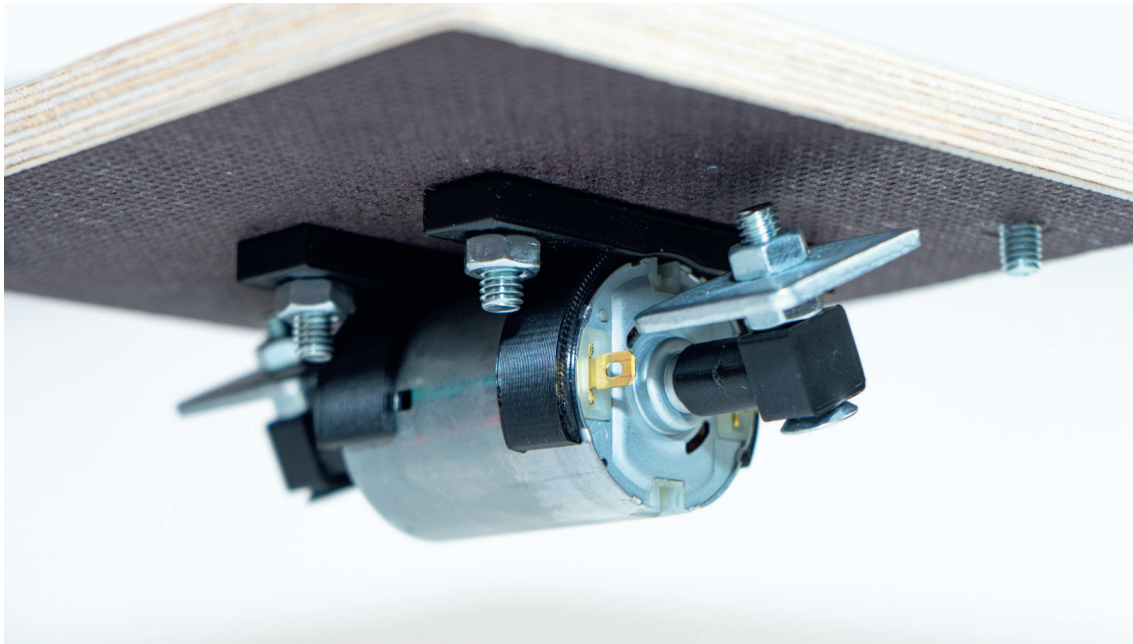


Abb. 50 Vibrationsmotor an der Unterseite der Kontaktfläche

Auf Basis der Erkenntnisse aus Exploration 2 wird eine Achse mit einer Gewichtshalterung konstruiert und mit Gewichten beschwert. Die Produktion erfolgt mit dem 3D-Drucker. Dies ist kostengünstiger und einfacher zu beschaffen als spezifische Modelle, die ausreichend starke Vibrationen erzeugen können.

Die Stärke einer Vibration ist bei einem ERA-Motor vor allem durch drei Eigenschaften bestimmt: Masse des Unwuchtgewichtes, Abstand der Masse zur Mitte der Welle sowie Drehzahl des Motors. Sie leiten sich aus der Formel der Fliehkraft einer Kreisbahn ab. Größten Einfluss hat dabei die Bahngeschwindigkeit, also die Drehzahl des Motors. Diese ist in einem Gleichstrommotor steuerbar und proportional zur gelieferten Stromspannung. Dazu nutzt das System den Vierquadrantensteller bzw. H-Brücke L298N. Durch eine PWM-Steuerung

kann sie die Motoren in ihrer Drehrichtung und Geschwindigkeit beeinflussen.

Die Pulsdauermodulation ist ein Verfahren, bei dem eine bestimmte technische Größe zwischen zwei Werten umgeschaltet wird (vgl. DIN 5483-1:1983-06, 1983, o. S.). In diesem Fall wechselt die Steuerung zwischen einem aktivierten und deaktivierten Zustand. Die Motorspannung ergibt sich aus dem Tastverhältnis zwischen eingeschaltetem und ausgeschaltetem Zustand. Ein 50 %-Tastverhältnis entspricht bei einer Betriebsspannung von 12 Volt einer Motorspannung von 6 Volt. Der Gleichstrommotor dreht sich in der Hälfte seiner maximalen Drehzahl und kann präzise gesteuert werden. Ebenso ermöglicht die H-Brücke ein aktives Bremsen des Motors, sodass dieser nach der Vibration weniger lang nachläuft und die Präzision vermindert.

8.1.3 Schwingungsdämpfung

Die Konstruktion muss einer hohen Belastung widerstehen und mechanische Bewegungen isolieren. Die Bodenplatte soll in der Lage sein, die Vibration ausschließlich an eine einzelne Person abzugeben. Hierbei stehen zwei Faktoren im Mittelpunkt: die Maximierung des Impulses, der an den Nutzer übergeht und die Minimierung der Energie, die an den Boden und andere Teile des Systems verloren geht.

Aus diesem Grund ist die mechanische Bewegung der Platte soweit wie möglich von der restlichen Struktur entkoppelt. An zwei Auflagestellen sind die vibrierenden Multiplexplatten durch Gummi-Metall-Puffer gelagert.

Sie besitzen zwei Gewinde, die mechanisch voneinander getrennt und nur durch ein umgebenes Gummi verbunden sind. Das isoliert und reduziert die Bewegungen.

An der dritten Auflagestelle werden explizite Schwingungsdämpfer genutzt. Sie sind aus Bergaflex, weicher als die Gummi-Metall-Puffer und dienen als Lagerung für die Wägezellen. Das kann bei Belastung ein plötzliches Aufschlagen der Bodenplatte auf die Zelle verhindern. Die Auflagepunkte der Platte sind auf drei reduziert, sodass die mechanische Energie nur an diesen Punkten übertragen und eine maximale Schwingungsamplitude ermöglicht wird.

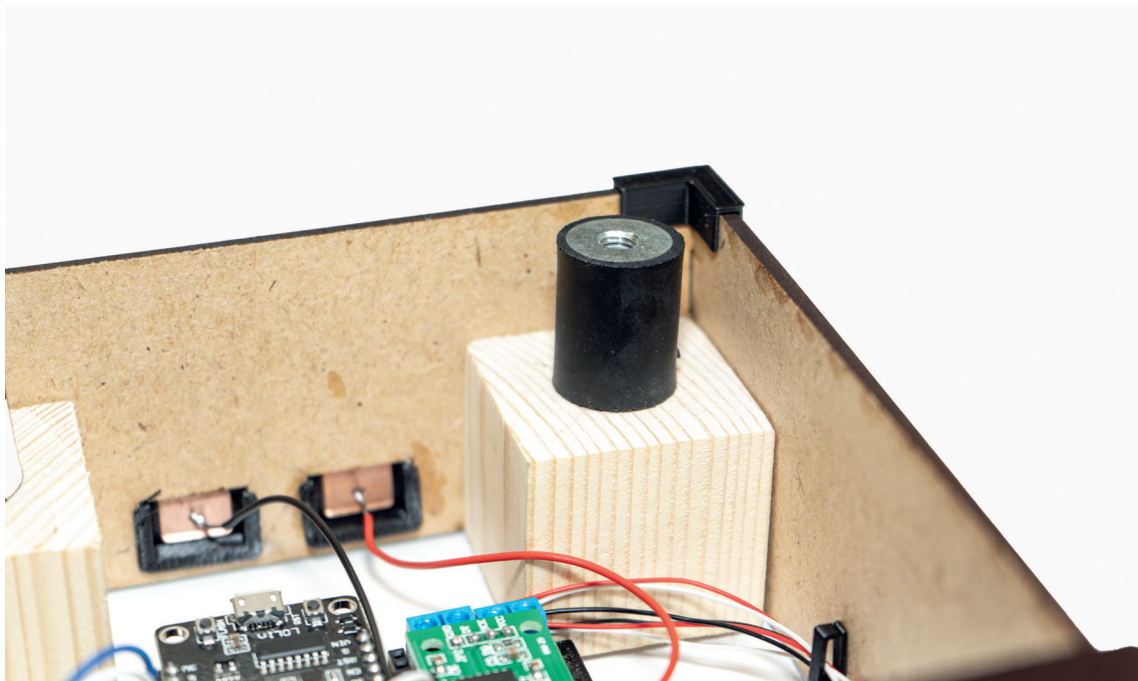


Abb. 51 Montierter Gummi-Metall-Puffer

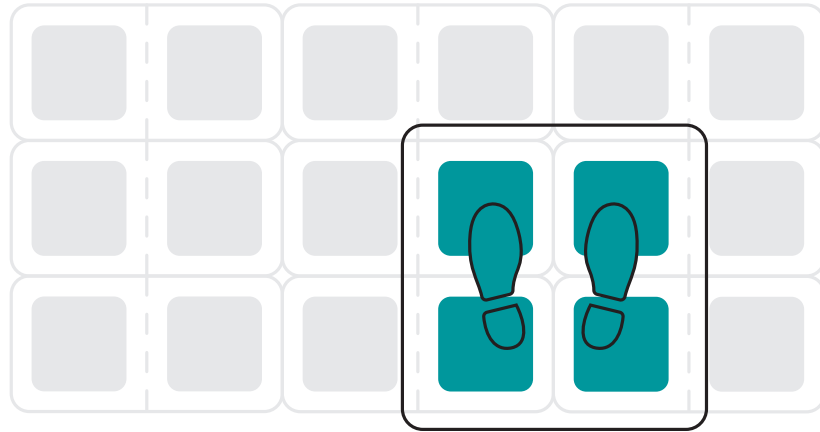


Abb. 52 Darstellung der Nutzererkennung durch die Auswertung von Gewichtsdaten

8.1.4 Nutzererkennung

Zur Erkennung des Bereichs, auf dem sich ein Nutzer gerade befindet, kommen Wägezellen zur Anwendung. Das sind Kraftsensoren, die vorrangig in Waagen zu finden sind. Durch mechanische Belastung kommt es zu einer leichten Verformungen ihrer Geometrie, was ein Dehnungsmessstreifen erfasst. Unter Last verändert sich der elektrische Widerstand, der gemessen und in eine Gewichtsangabe umgerechnet wird. Da die Veränderungen sehr minimal sind, kann der Microcontroller sie nicht registrieren. Aus diesem Grund kommt der 24-Bit Analog zu Digital Converter HX711 zum Einsatz. Das elektronische Bauteil ist in der Lage, die Widerstandsveränderung genau zu messen und sie in ein für den Arduino nutzbares Signal zu verstärken. Pro Zone wird jeweils eine Wägezelle verwendet, die für eine Belastung von bis zu 50 Kilogramm ausgelegt ist.

Die Exploration 1 zeigt, dass das Gewicht des Nutzers einen direkten Einfluss auf die wahrgenommene Vibrationsstärke hat. Die

Beobachtung ist auch physikalisch nachvollziehbar, da der Vibrationsmotor eine höhere Masse in Schwingung versetzen muss. Durch das Erfassen des Körpergewichts kann der Effekt reduziert werden, indem die Vibrationsstärke adaptiv angepasst wird.

Die hier eingesetzte Technologie weist jedoch auch Einschränkungen auf. So ist das Identifizieren eines Nutzers nur pro Zone möglich und an deren Größe gebunden. Eine Bestimmung der Ausrichtung der Person kann das System nicht leisten. Auch fehlt die Fähigkeit, Nutzer in unmittelbarer Nähe zu unterscheiden. Die Software kann zwar anhand von festgelegten Regeln Muster erkennen und dementsprechend Nutzer identifizieren. Jedoch kommt es bei nahe beieinander stehenden Personen zu überschneidenden, mechanischen Belastungen, sodass eine klare Trennung unmöglich ist. Dazu muss weitere Sensorik eingesetzt werden, die über die reine Betrachtung der mechanischen Belastung hinausgeht.

8.2 Steuerungszentrale

8.2.1 Aufgaben

Die Steuerungszentrale ist für die übergeordnete Steuerung des gesamten Systems verantwortlich. Dabei handelt es sich um eine Software, die auf einem Computer ausgeführt wird. Sie steuert alle Vorgänge, synchronisiert die einzelnen Elemente, wertet Daten aus, generiert die Befehle und ermöglicht die Zusammenarbeit zwischen den Zonen.

Die Zentrale hat folgende Hauptaufgaben:

1. Einrichtung und Konfiguration des Systems
2. Identifizierung des Nutzers durch Auswertung der Wägezellen
3. Modulation der Vibration
4. Erzeugung und Kommunikation der einzelnen Befehle für die Kacheln
5. Bereitstellung einer grafischen Oberfläche

Aus den gegebenen Parametern der Informationen erstellt die Zentrale automatisch oder durch manuelle Eingabe das Vibrationsmuster. Dabei werden die aus der Vibrationsmodulation bekannten Attribute eingesetzt. In der grafischen Oberfläche sind die Werte überprüf- und veränderbar. Die Steuerungszentrale leitet aus den Daten die Instruktionen für die Kacheln

ab. Sobald sie festgelegt sind, übermittelt sie die Befehle an die einzelnen Kacheln, die bei Bedarf eine Vibration auslösen. Falls in der Information eine Richtung vermerkt ist, können die Kacheln nicht eigenständig agieren, sondern sind auf die Zentrale angewiesen. Diese liest auf Grundlage der gesammelten Gewichtsdaten die Position des Nutzers aus und bestimmt die Zonen, die Reize erzeugen müssen, um die Richtung zu vermitteln.

Die Steuerung durch die Zentrale wird im Folgenden als Macrocontrolling bezeichnet. Die einzelnen Kacheln sind in einem definierten Bereich auch zu einem Microcontrolling befähigt, indem sie leichte Änderungen an den erhaltenen Instruktionen vornehmen können.

Die Steuerungszentrale basiert auf der Programmiersprache und Entwicklungsumgebung Processing (vgl. Processing, o. J., o. S.). Dabei werden die Bibliotheken MQTT von Joel Gaehwiler (vgl. Gaehwiler, 2019, o. S.) zur Herstellung der MQTT-Verbindung sowie controlP5 von Andreas Schlegel (vgl. Schlegel, 2015, o. S.) zur Erstellung der grafischen Benutzeroberfläche verwendet.



Abb. 53 Steuerungssoftware auf einem Laptop während der Nutzung

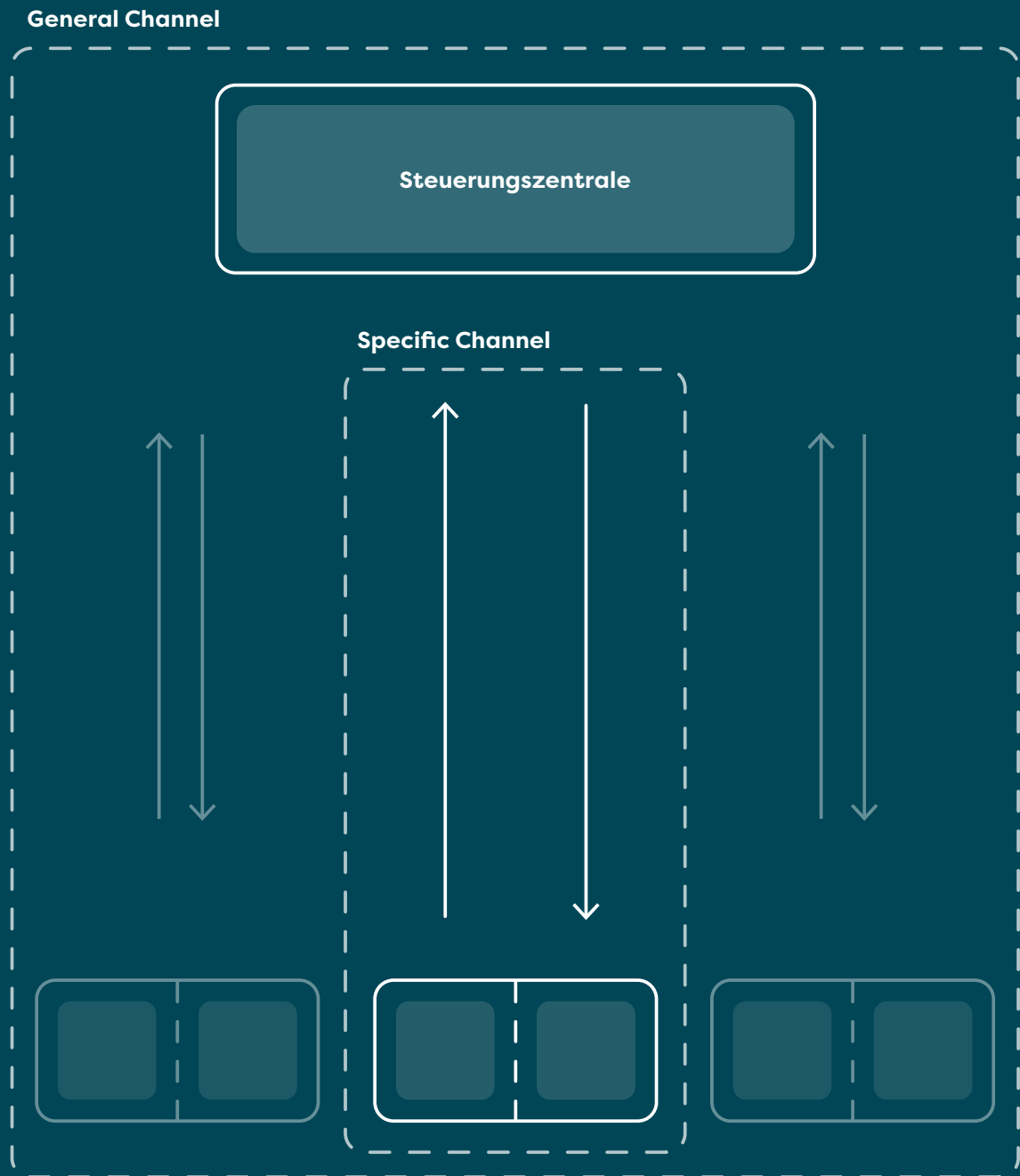


Abb. 54 Channel-Struktur der MQTT-Kommunikation

8.2.2 Kommunikation

Es findet keine Kommunikation unter den Kacheln statt. Sie sammeln lediglich ihre eigenen Daten und können auch nur diese verarbeiten. Sie sind ausschließlich mit der Zentrale verbunden, an die sie Daten übermitteln und von der sie Instruktionen erhalten. Es handelt sich um eine Stern-Topologie (vgl. Traeger u. Volk, 2001, S. 88). Die Kacheln stellen die untergeordneten Elemente dar und einzig die Steuerungszentrale unterhält eine Verbindung mit allen Einzelteilen. Die Kommunikation findet drahtlos über ein lokales WiFi-Netzwerk statt. Die verbauten ESP8266 Microcontroller besitzen ein integriertes WiFi-Kommunikationssystem, sodass sich diese Technologie anbietet. Die fehlende physikalische Verbindung ermöglicht eine örtliche Trennung der Steuerungszentrale und der Bodenkacheln.

Für die Kommunikation zwischen den Kacheln und der Zentrale wird das Netzwerkprotokoll MQTT genutzt. Dieses wurde für die Machine-to-Machine-Kommunikation konzipiert und ermöglicht eine sehr zuverlässige und

unkomplizierte Übertragung von Daten in einem Netzwerk (vgl. Banks, Briggs, Borgendale u. Gupta, 2009, o. S.). Die Zentrale stellt dabei den Broker und Mittelpunkt des Systems dar. Für jede einzelne Bodenkachel erstellt die Zentrale ein sogenanntes Topic. Es handelt sich um voneinander getrennte Kommunikationskanäle. Die Bodenkachel subscribt seinem spezifischen Topic und erhält daraufhin alle in dem Channel veröffentlichten Daten. Die Zentrale publisht in ihm die weiteren Instruktionen für die einzelne Kachel. Dadurch erhält sie nur die relevanten Daten und muss keine weiteren Informationen verarbeiten. In einem gemeinsamen, übergeordneten Topic beziehen alle Kacheln zusätzliche Anweisungen, wie zum Beispiel die erste Konfiguration des Systems.

Die Übermittlung der Daten wird codiert. Die Zentrale wandelt die Elemente der Vibration in einen String aus Buchstaben und Zahlen um, der von der Bodenkachel analysiert und ausgewertet werden kann.

8.2.3 Grafische Oberfläche

Die grafische Oberfläche dient dem Steuern des Systems und erfüllt mehrere Aufgaben. Die Software stellt den aktuellen Status des Systems dar, indem sie eine grafische Repräsentation der einzelnen Zonen anzeigt. Farbliche Rechtecke veranschaulichen die räumliche Konfiguration aus einer Vogelperspektive. Die grafische Darstellung passt sich dynamisch an, sodass der Betriebszustand der einzelnen Module schnell erfassbar ist. Dort kann auch der Status einer Vibration und die Krafteinwirkung auf die Zonen entnommen werden.

Außerdem lassen sich mit der grafischen Oberfläche wichtige Daten konfigurieren und überprüfen. Sie ermöglicht, dass die korrekte Funktionsweise getestet und verschiedene Teile gedebuggt werden können. Im Sinne einer Fernwartung lassen sich Probleme diagnostizieren und beheben. Die Software ist auch Kern der Vibrationserzeugung. Der Nutzer kann die Vibrationen prozedural generieren und erhält eine visuelle Vorschau. Das genaue Verfahren kann dem nachfolgenden Kapitel Macro- und Microcontrolling entnommen werden.

Zusätzlich stellt die grafische Oberfläche ein Set-up zur Konfiguration des Systems bereit. Der Einrichtungsmodus startet und die Basiskachel wird als erste ausgelegt und mit Strom versorgt. Sie verbindet sich automatisch

über das WiFi-Netzwerk mit der Zentrale und übermittelt durch MQTT in dem Topic Setup ihre fest definierte Hardware-ID. Die Zentrale sammelt die Daten und vergibt eine eindeutige Positions-ID, die die Lage im Gitter der Bodenplatte beschreibt. Die Basiskachel erhält die ID 1-1, wobei die erste Ziffer für die Zeile und die zweite für die Spalte steht. Diese werden aufsteigend durchnummeriert. Anhand der Positionierung kann die Zentrale die einzelnen Zonen adressieren.

Danach können alle weiteren Kacheln an den Steckverbindungen der Basiskachel befestigt werden. Sie verbinden sich automatisch und erhalten ihre IDs. Der Nutzer muss die Position der einzelnen Elemente auf der visuellen Repräsentation des Systems vermerken und so die gesamte Bodenplatte auslegen. Es ist keine Konfiguration vorgegeben, sodass der Nutzer eine beliebige Form aus den Elementen bilden kann. Zur Kontrolle der Funktionsfähigkeit wird nach jeder ausgelegten Kachel in der grafischen Oberfläche der Status dargestellt und eine Vibration ausgelöst, sodass der Nutzer eine Überprüfung der Konfiguration vornehmen kann. Um weitere Kacheln hinzuzufügen oder zu entfernen, kann der Einrichtungsmodus jederzeit neu gestartet und Veränderungen vorgenommen werden.

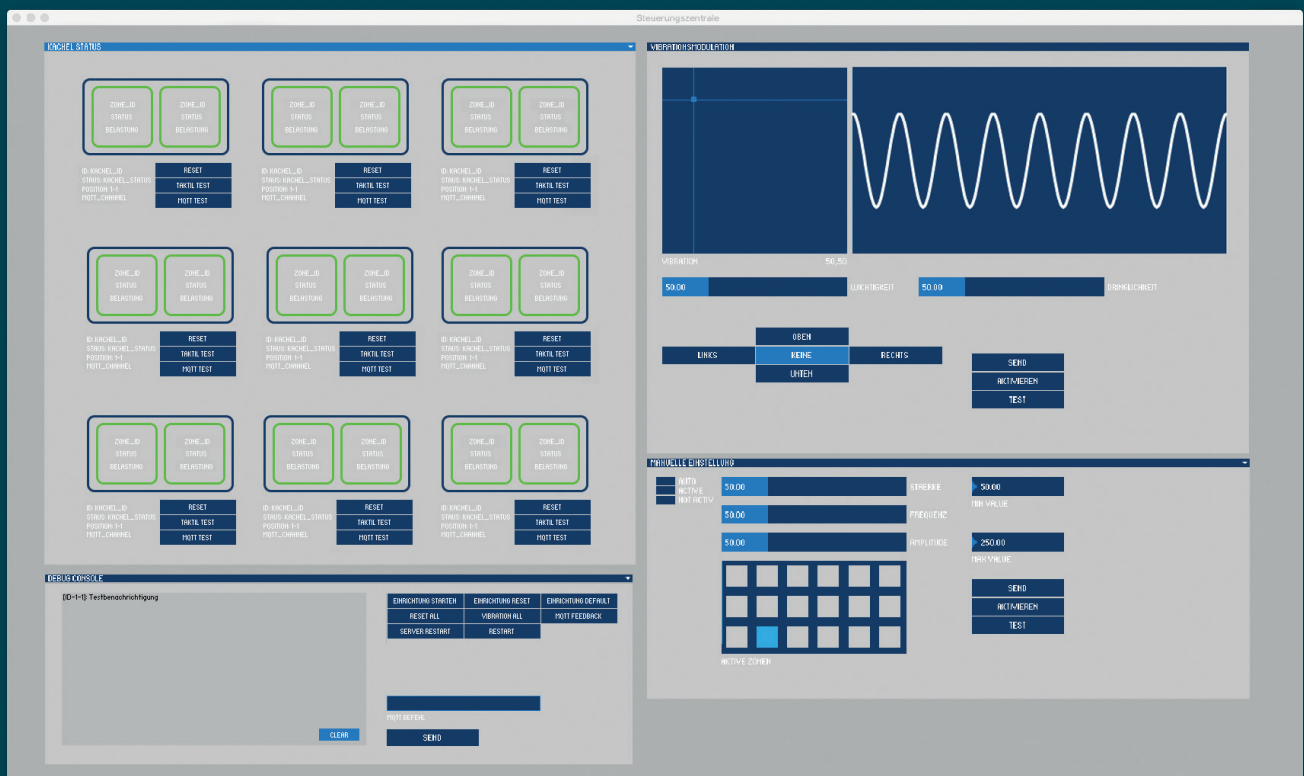


Abb. 55 Grafische Oberfläche der Steuerungszentrale

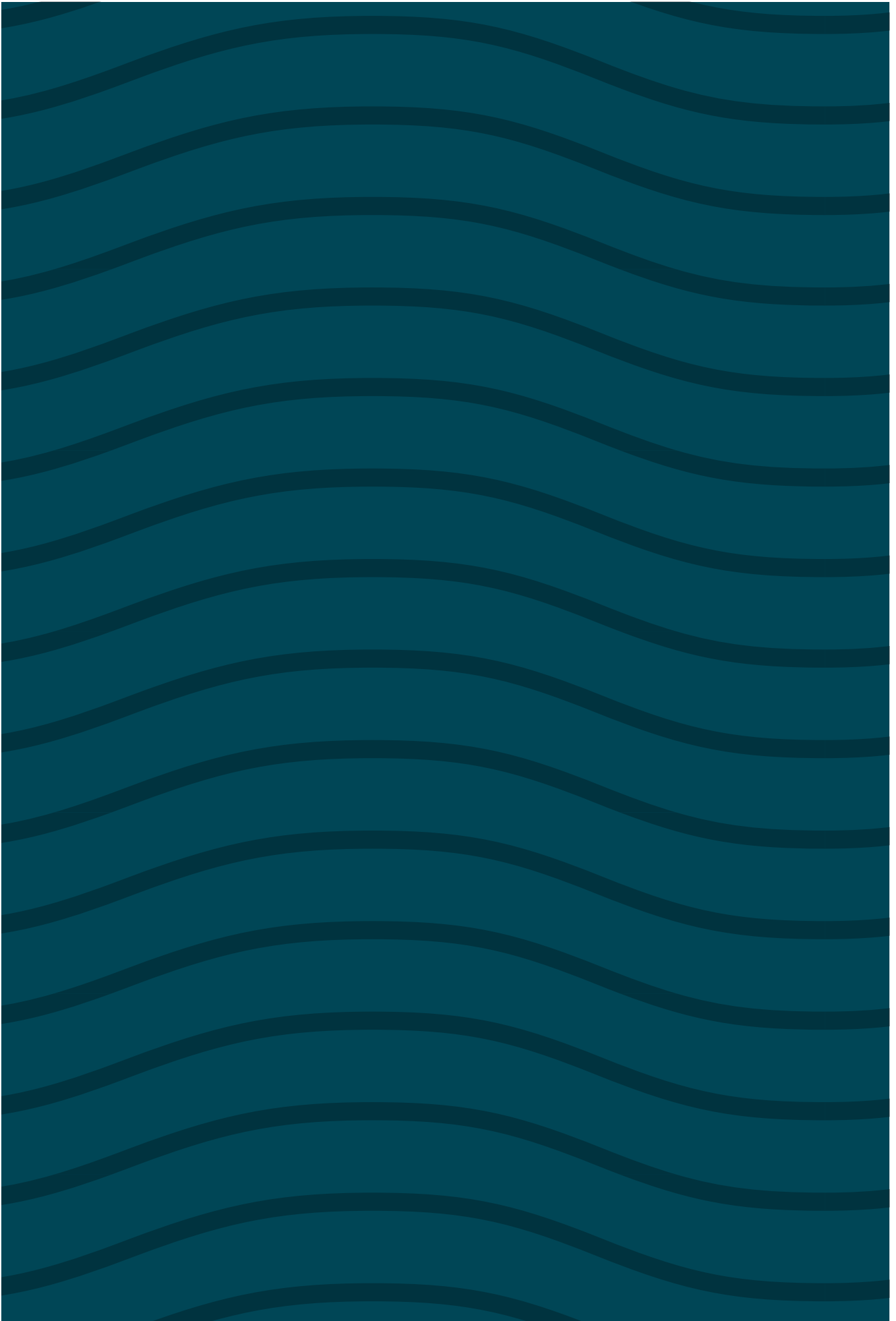
8.2.4 Micro- und Macrocontrolling

Das Macrocontrolling bezeichnet das übergeordnete Steuern der gesamten Bodenplatte und deren Kacheln. Die Steuerungszentrale moduliert die Vibrationen und erzeugt die Instruktionen für die Kacheln. In der grafischen Oberfläche wird der Informationstyp und die Informationseigenschaften festgelegt. Die Vibration ist als Graph in Echtzeit dargestellt. Die X-Achse zeigt die Zeit und die Y-Achse die Stärke. Anhand des Verlaufs entnimmt der Nutzer eine Vorschau der Vibration. Alternativ besteht die Möglichkeit neben der prozeduralen Generierung auch ein spezifisches Muster aus einer Reihe vordefinierter Vibrationsabfolgen auszuwählen. Zusätzlich kann der Nutzer eine Richtung festlegen.

Sobald die Vibrationsvoreinstellung abgeschlossen ist, generiert die Steuerungszentrale die einzelnen Instruktionen aus den Variablen für die Kacheln und gibt diese mittels MQTT weiter. Sobald eine Gewichtsbelastung auf der Bodenplatte registriert wird, senden die betroffenen Kacheln die Daten an die Zentrale weiter. Sie ermittelt, auf welchen Zonen sich

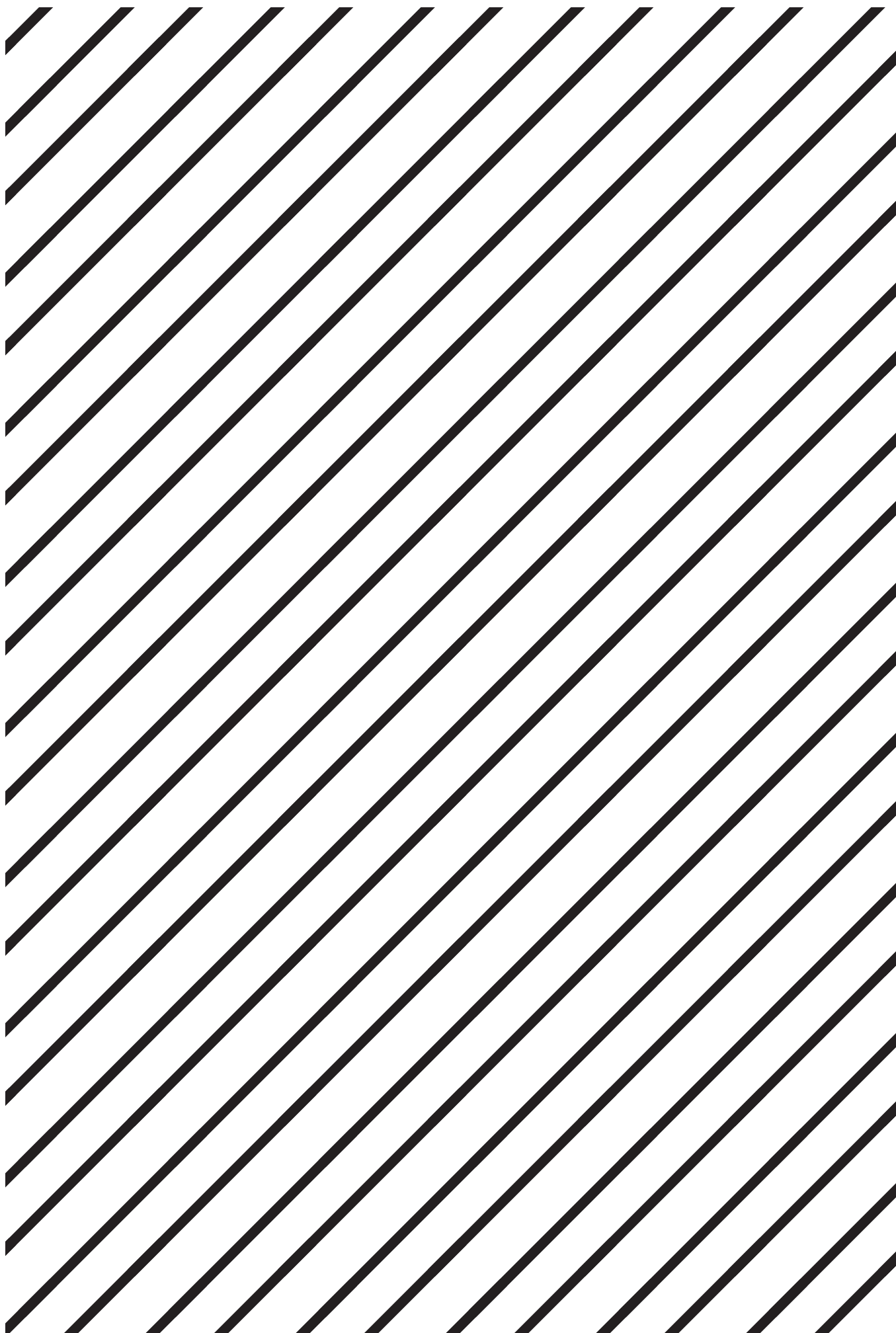
eine Person befindet. Dazu fasst das System die Gewichtsbelastung von naheliegenden Zonen zu Gruppen zusammen und identifiziert den Nutzer auf Basis der durchschnittlichen Spurbreite und Größe eines Fußes. Dieses Verfahren ist durch die Auflösung der Zonen limitiert und kann keine Personen in unmittelbarer Nähe unterscheiden.

Wenn eine Vibration in einer Zone durch das Macrocontrolling ausgelöst wird, nehmen die einzelnen Kacheln noch automatische Veränderungen im Rahmen des Microcontrollings vor. Die Vibrationsstärke wird anhand der integrierten Variablen der Vibrationsmodulation an die gemessene Krafteinwirkung angepasst. Die Vibration unterbricht, sobald ein Nutzer nicht mehr auf der Zone steht. Die Anpassungen erfolgen auf Seiten des Mikrocontrollers, da er die Messwerte aus den Wägezellen kontinuierlich ausliest und somit schnell auf Veränderungen reagiert. Bei einer zentralen Verarbeitung würde durch die Netzwerkübertragung zu viel Zeit in Anspruch genommen werden, um zeitgerecht reagieren zu können.



9

Fazit & Ausblick



Die Konzepte für neue Informationssysteme im öffentlichen Raum müssen in einem Zusammenhang mit der umfänglichen Digitalisierung im Sinne einer Smart City gesehen werden. Das beinhaltet die Vorstellung einer intelligenten Stadt. Durch den Einsatz von Sensorik ist sie in der Lage, die Lebensqualität der Menschen zu verbessern, indem sie Situationen in Echtzeit erkennen und entsprechend handeln kann. Bei der Betrachtung bestehender Systeme im öffentlichen Raum wird aber deutlich, dass Informationen vorrangig statisch dargestellt werden. Eine adaptive kontextsensitive Übertragung von dynamischen Informationen ist Ziel der Konzeption und Gestaltung des neuen Systems.

Die Recherche zur menschlichen Aufmerksamkeit zeigt, dass diese limitiert ist. Sie wird von einer Vielzahl von visuellen und auditiven Reizen beansprucht, sodass die relevanten Reize möglicherweise nicht wahrgenommen werden. Weil jeder Sinn eine eigene Aufmerksamkeitskapazität besitzt, rückt die Betrachtung alternativer Sinnesmodalitäten in den Fokus. Vor allem bietet die Nutzung taktiler Reize eine Alternative, da sie nicht mit den allgegenwärtigen Reizen im öffentlichen Raum konkurrieren. Diese und die aus den wissenschaftlichen Grundlagen der Wahrnehmungs-

psychologie, Sinnesphysiologie, Signaletik, Digital Signage und Ganganalyse gewonnenen Erkenntnisse führen zu folgenden Forderungen an ein modernes, digitales Informationssystem: Das System soll durch eine alternative Sinneswahrnehmung aktiv einen spezifischen Nutzer privat adressieren und kontextsensitiv dynamische und selbsterklärende Informationen vermitteln.

Inspiration für das neue System sind Blindenleitsysteme, die durch unterschiedliche Oberflächenstrukturen Informationen vermitteln. Der Boden als Übertragungsmedium für taktile Reize ist die Basis der Konzeption. Drei Explorationen, die die taktile Wahrnehmung des Fußes mit Probanden genauer untersuchen, zeigen, dass der Fuß Vibrationen ähnlich genau und empfindlich wie eine Hand registrieren kann. Auch lassen sich Attribute einer Vibration in einem gewissen Rahmen einzelnen subjektiven Eindrücken zuordnen. Die Vibrationsstärke ist mit der Wichtigkeit einer Information verknüpfbar, während die Vibrationsfrequenz mit der Dringlichkeit in Verbindung steht. Eine starke Amplitude zwischen minimaler und maximaler Vibration erhöht die wahrgenommene Relevanz. Zusätzlich kann eine Richtung vermittelt werden, indem entweder der linke oder rechte Fuß, beziehungsweise der obere oder untere

Teil des Fußes einem taktilen Reiz ausgesetzt ist. Daraus resultierend ist eine Methode zur Modulation einer Vibration erarbeitet, die aus Informationseigenschaften eine Vibration generiert.

Das Konzept des neuen Systems ist als ein funktionsfähiger Prototyp umgesetzt. Es handelt sich um eine Bodenplatte, die aus neun modularen Elementen und insgesamt 18 individuell steuerbaren, taktilen Zonen besteht. Sie kann den Nutzer identifizieren, spezifisch ansprechen, der Situation angepasst taktile Reize erzeugen und damit Informationen vermitteln.

Die Probanden gestützten Explorationen zeigen, dass eine Informationsvermittlung durch taktile Reize über den Boden möglich ist. Das System kann sich seinem Kontext anpassen und Informationen an spezifische Nutzer richten. Eine direkte, private und dynamische Ansprache im öffentlichen Raum, die vollständig auf die Nutzung visueller und auditiver Reize verzichtet, ist gegeben. Dabei lassen sich Informationen zu einem relevanten Zeitpunkt und ausschließlich an die Zielgruppe übertragen. Die identifizierten Anforderungen werden erfüllt, sodass das System in der Lage ist, die gestellten Anwendungsfälle abzubilden.

Jedoch ist zu bedenken, dass die Explorationen mit einer eng begrenzten Anzahl an Probanden durchgeführt wurden. Ebenso kann der Einfluss anderer Faktoren nicht ausgeschlossen werden, sodass sie nur eingeschränkt repräsentativ sind. Sie dienen ausschließlich zum besseren Verständnis der Thematik und zur weiteren Ausarbeitung des Konzeptes. Um eine eindeutige wissenschaftliche Evidenz zu erlangen, ist das System durch eine wissenschaftliche Studie weiter zu betrachten.

Der im Rahmen dieser Arbeit geschaffene Prototyp zeigt das Potenzial der Nutzung von taktilen Reizen im öffentlichen Raum. Insbesondere die Einbeziehung des allgegenwärtigen Bodens als Übertragungsmedium sollte in der Zukunft weitere Beachtung finden. Gerade die Vermittlung von rudimentären Informationen wie einer Warnung ist hierfür geeignet. Durch die Verbesserung der Auflösung des Systems und die Integration weiterer haptischer Sinnesindrücke, wie zum Beispiel der Propriozeption, kann der Anwendungszweck des Konzeptes möglicherweise erweitert werden.

Anhang



Literaturverzeichnis

- Abowd G.D., Dey A.K., Brown P.J., Davies N., Smith M. u. Steggle P. (1999):** Towards a Better Understanding of Context and Context-Awareness. In: Gellersen HW. [Hrsg.] (1999): Handheld and Ubiquitous Computing. HUC 1999. Lecture Notes in Computer Science, Issue 1707. S. 304-307. Berlin, Heidelberg. Springer
- Ansorge U. u. Leder H. (2017):** Wahrnehmung und Aufmerksamkeit. In: Kriz, J. [Hrsg.] (2017): Wahrnehmung und Aufmerksamkeit. Basiswissen Psychologie. S.1-17. Wiesbaden. Springer
- Arduino.cc (o. J.):** Arduino. Verfügbar unter: <https://www.arduino.cc> [23. Juni 2020]
- Autodesk (o. J.):** Fusion 360. Verfügbar unter: <https://www.autodesk.de/products/fusion-360/overview> [23. Juni 2020]
- Avia Semiconductor (o. J.):** HX711. Verfügbar unter: <http://en.aviaic.com/detail/730856.html> [23. Juni 2020]
- Baccarne B., Mechant P. u. Schuurman D. (2014):** Empowered Cities? An Analysis of the Structure and Generated Value of the Smart City Ghent. In: Dameri R. u. Rosenthal-Sabroux C. [Hrsg.] (2014): Smart City. How to Create Public and Economic Value with High Technology in Urban Space. Progress in IS. S. 157-182. Cham. Springer
- Banks, A., Briggs, E., Borgendale, K. u. Gupta, R. (2019):** MQTT Version 5.0. Verfügbar unter: <https://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v5.0/mqtt-v5.0.html> [23. Juni 2020]
- Becker-Carus C. u. Wendt M. (2017a):** Wahrnehmung. In: Becker-Carus C. u. Wendt M. [Hrsg.] (2017b): Allgemeine Psychologie - Eine Einführung. S. 73-156. Berlin, Heidelberg. Springer
- Becker-Carus C. u. Wendt M. [Hrsg.] (2017b):** Allgemeine Psychologie - Eine Einführung. Berlin, Heidelberg. Springer.
- Birbaumer N. u. Schmidt R. (2010):** Biologische Psychologie. Springer-Lehrbuch. Berlin, Heidelberg. Springer
- Boll S., Maaß S. u. Malaka R. [Hrsg.] (2013):** Mensch und Computer 2013: Interaktive Vielfalt. München. Oldenbourg Verlag.
- Bongartz M. (2013):** Gehen mit veränderten Parametern. In: Suppé B. u. Bongartz M. [Hrsg.] (2013): FBL Klein-Vogelbach Functional Kinetics praktisch angewandt. S. 141-153. Berlin, Heidelberg. Springer
- Brendgens G. (2005):** Vom Verlust des öffentlichen Raums. Simulierte Öffentlichkeit in Zeiten des Neoliberalismus. In: Rosa-Luxemburg-Stiftung e.V. [Hrsg.] (2005): Utopie kreativ. Ausgabe 182. S. 1088-1097. Berlin. NDZ Neue Zeitungsverwaltung GmbH

Brockhaus (o. J.): Big Data. Verfügbar unter: <http://brockhaus.de/ecs/enzy/article/big-data>
[23. Juni 2020]

Brockhaus (o. J.): Daseinsvorsorge. Verfügbar unter:
<http://brockhaus.de/ecs/enzy/article/daseinsvorsorge> [23. Juni 2020]

Brockhaus (o. J.): dreidimensionaler Druck (Werkstofftechnik). Verfügbar unter: <http://brockhaus.de/ecs/enzy/article/dreidimensionaler-druck-werkstofftechnik> [23. Juni 2020]

Brockhaus (o. J.): Intelligenz (Psychologie).
Verfügbar unter: <http://brockhaus.de/ecs/enzy/article/intelligenz-psychologie> [23. Juni 2020]

Brockhaus (o. J.): öffentlicher Raum. Verfügbar unter:
<http://brockhaus.de/ecs/enzy/article/oeffentlicher-raum> [23. Juni 2020]

Brockhaus (o. J.): Schneiden (Fertigungstechnik).
Verfügbar unter: <http://brockhaus.de/ecs/enzy/article/schneiden-fertigungstechnik>
[23. Juni 2020]

Brockhaus (o. J.): Smart City. Verfügbar unter: <http://brockhaus.de/ecs/enzy/article/smart-city>
[23. Juni 2020]

Brockhaus (o. J.): Taxien (Biologie). Verfügbar unter:
<http://brockhaus.de/ecs/enzy/article/taxien-biologie> [23. Juni 2020]

Brockhaus (o. J.): Unwuchtmotor [Fördertechnik].
Verfügbar unter: <http://brockhaus.de/ecs/enzy/article/unwuchtmotor-fordertechnik>
[23. Juni 2020]

Brockhaus (o. J.): Vater-Pacini-Körperchen. Verfügbar
unter: <http://brockhaus.de/ecs/enzy/article/vater-pacini-korperchen> [23. Juni 2020]

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2017): Smart City Charta. Digitale Transformation in den Kommunen nachhaltig gestalten. Verfügbar unter: <https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/veroeffentlichungen/themen/bauen/wohnen/smart-city-charta-kurzfassung-de-und-en.pdf>
[23. Juni 2020]

BVerfG (1988): Beschluss vom 23. November 1988,
Az. 2 BvR 1619, 1628/83, BVerfGE 79, 127, 151

Caeners, S., Eisinger, M., Gurr, J. u. Schmidt, J. (2013): Healthy and Liveable Cities / Gesunde und lebenswerte Städte: Joint Center "Urban Systems" at the University of Duisburg-Essen. / Profilschwerpunkt "Urbane Systeme" der Universität Duisburg-Essen. Essener Forum Baukommunikation. Ludwigsburg. av edition

Dameri R., u. Rosenthal-Sabroux C. [Hrsg.] (2014): Smart City. How to Create Public and Economic Value with High Technology in Urban Space. Progress in IS. Cham. Springer

- Dameri, R.P. (2017):** Smart City Implementation - Creating Economic and Public Value in Innovative Urban Systems. Cham. Springer
- Danilov Y.P., Tyler M.E. u. Kaczmarek K.A. (2008):** Vestibular sensory substitution using tongue electrotactile display. In: Grunwald M. [Hrsg.] (2008): Human Haptic Perception. S. 467–480. Basel. Birkhäuser
- DIN 18040-1:2010-10 (2010):** Barrierefreies Bauen - Planungsgrundlagen - Teil 1: Öffentlich zugängliche Gebäude, Berlin. Beuth-Verlag
- DIN 32984-1:2011-10 (2011):** Bodenindikatoren im öffentlichen Raum. Berlin. Beuth-Verlag
- DIN 5483-1:1983-06 (1983):** Zeitabhängige Größen; Benennungen der Zeitabhängigkeit. Berlin. Beuth-Verlag
- Espressif (o. J.):** ESP8266 - A cost-effective and highly integrated Wi-Fi MCU for IoT applications. Verfügbar unter: <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp8266/overview> [23. Juni 2020]
- European Environment Agency (2015):** Noise in Europe 2014 - EEA Report No 10/2014. Luxemburg. Verfügbar unter: <https://op.europa.eu/s/n8yH> [23. Juni 2020]
- Frings S., Müller F. (2019):** Biologie der Sinne: Vom Molekül zur Wahrnehmung. Berlin, Heidelberg. Springer
- Gaehwiler, J. (2019):** processing-mqtt. Verfügbar unter: <https://github.com/256dpi/processing-mqtt> [23. Juni 2020]
- Gassmann, O., Böhm, J. u. Palmié M. (2018):** Smart City. Innovationen für die vernetzte Stadt – Geschäftsmodelle und Management. München. Carl Hanser Verlag
- Gellersen HW. [Hrsg.] (1999):** Handheld and Ubiquitous Computing. HUC 1999. Lecture Notes in Computer Science, vol 1707. Berlin, Heidelberg. Springer
- Grunwald M. u. John M. (2008):** German pioneers of research into human haptic perception. In: Grunwald M. [Hrsg.] (2008): Human Haptic Perception. S. 15–39. Basel. Birkhäuser
- Hagendorf H., Krummenacher J., Müller HJ. u. Schubert T. (2008):** Hautsinne und Schmerz. In: dies. (2011): Wahrnehmung und Aufmerksamkeit. S. 141–148. Berlin, Heidelberg. Springer
- Hagendorf H., Krummenacher J., Müller HJ. u. Schubert T. (2011):** Eigenschaften der Wahrnehmung und theoretischer Rahmen. In: dies. (2011): Wahrnehmung und Aufmerksamkeit. S. 13–30. Berlin, Heidelberg. Springer

Hagendorf H., Krummenacher J., Müller HJ. u.

Schubert T. [Hrsg.] (2011): Wahrnehmung und Aufmerksamkeit. S. 141–148. Berlin, Heidelberg. Springer

Handwerker H.O. (2006a): Allgemeine Sinnesphysiologie. In: Schmidt F. u. Schaible HG. [Hrsg.] (2006): Neuro- und Sinnesphysiologie. Springer-Lehrbuch. S. 182–202. Berlin, Heidelberg. Springer

Handwerker H.O. (2006b): Somatosensorik. In: Schmidt F. u. Schaible HG. [Hrsg.] (2006): Neuro- und Sinnesphysiologie. Springer-Lehrbuch. S. 203–228. Berlin, Heidelberg. Springer

Hartung G., Herrgen M. [Hrsg.] (2016): Interdisziplinäre Anthropologie. Interdisziplinäre Anthropologie. Band 4. Wiesbaden. Springer VS

Heinrich, L., Heinzl, A. u. Riedl, R. (2011): Wirtschaftsinformatik. Einführung und Grundlegung. Berlin. Springer

Ikeuchi K. [Hrsg.] (2020): Computer Vision. Cham. Springer. DOI: 10.1007/978-3-030-03243-2.

Illert M. u. Kuhtz-Buschbeck J.P. (2006): Motorisches System. In: Schmidt F. u. Schaible HG. [Hrsg.] (2006): Neuro- und Sinnesphysiologie. Springer-Lehrbuch. S. 94–130. Berlin, Heidelberg. Springer

IMD World Competitiveness Center (2019): IMD

Smart City Index 2019. Verfügbar unter: <https://www.imd.org/research-knowledge/reports/imd-smart-city-index-2019/> [23. Juni 2020]

Grunwald M. [Hrsg.] (2008): Human Haptic Perception. Basel. Birkhäuser

Johnson Electric Industrial Manufactory (2005): Datasheet Project No. 01D1031. Verfügbar unter: <https://www.pollin.de/productdownloads/D310631D.PDF>

Jonas K., Stroebe W. u. Hewstone M. [Hrsg.] (2014): Sozialpsychologie. Springer-Lehrbuch. Berlin, Heidelberg. Springer

Kaupp, M. (2010): Technologie, Anwendung, Chancen & Risiken. Hamburg. Diplomica Verlag

Kitchin, R. (2013): The real-time city? Big data and smart urbanism. In: Warf, B. [Hrsg.] (2014): GeoJournal 79, Issue 1. S. 1–14. Berlin, Heidelberg. Springer Nature

Kriz, J. [Hrsg.] (2017): Wahrnehmung und Aufmerksamkeit. Basiswissen Psychologie. Wiesbaden. Springer

Krummenacher J., Müller HJ. u. Schubert T. (2011): Selektive Aufmerksamkeit. In: Hagendorf H., Krummenacher J., Müller HJ. u. Schubert T. [Hrsg.] (2011): Wahrnehmung und Aufmerksamkeit. S. 179–201. Berlin, Heidelberg. Springer

- Lauzi, M. (2019):** Smart City - Technische Fundamente und erfolgreiche Anwendungen. München. Carl Hanser Verlag
- Leon-Garcia A. et al. [Hrsg.] (2016):** Smart City 360°. SmartCity 360 2016, SmartCity 360 2015. Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering, Issue 166. Cham. Springer.
- Liedecke C. (2016):** Haptische Signale am Fahrerfuß für Aufgaben der Fahrzeugsteuerung. Wissenschaftliche Reihe Fahrzeugtechnik Universität Stuttgart. Berlin, Heidelberg. Springer
- Loy C.C. (2020):** Face Detection. In: Ikeuchi K. [Hrsg.] (2020): Computer Vision. Cham. Springer. DOI: 10.1007/978-3-030-03243-2. Verfügbar unter: https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-3-030-03243-2_798-1
- Minge, M. (2013):** meCUE 2.0 - Informationen zur Messgüte, Verfügbar unter: <http://mecue.de/home/messguete.html> [23. Juni 2020]
- Minge, M. u. Riedel, L. (2013):** meCUE – Ein modularer Fragebogen zur Erfassung des Nutzungserlebens. In: Boll S., Maaß S. & Malaka R. [Hrsg.] (2013): Mensch und Computer 2013: Interaktive Vielfalt. S. 89-98. München. Oldenbourg Verlag.
- MIT Senseable City Lab (2019):** AI Station, Verfügbar unter: <http://senseable.mit.edu/ai-station/> [23. Juni 2020]
- MIT Senseable City Lab (o. J.):** Real-time city, Verfügbar unter: <http://senseable.mit.edu> [23. Juni 2020]
- Müller HJ., Krummenacher J. u. Schubert T. (2015a):** Perzeptive selektive Aufmerksamkeit. In: dies. (2015): Aufmerksamkeit und Handlungssteuerung. S. 9–17. Berlin, Heidelberg. Springer
- Müller HJ., Krummenacher J. u. Schubert T. [Hrsg.] (2015b):** Aufmerksamkeit und Handlungssteuerung. Berlin, Heidelberg. Springer
- Negre E. u. Rosenthal-Sabroux C. (2014):** Recommendations to Improve the Smartness of a City. In: Dameri R. u. Rosenthal-Sabroux C. [Hrsg.] (2014): Smart City. How to Create Public and Economic Value with High Technology in Urban Space. Progress in IS. S. 101-115. Cham. Springer
- Negre E., Rosenthal-Sabroux C. (2014):** Recommendations to Improve the Smartness of a City. In: Dameri R., Rosenthal-Sabroux C. [Hrsg.] (2014): Smart City. How to Create Public and Economic Value with High Technology in Urban Space. Progress in IS. S. 101-115. Cham. Springer
- NodeMcu Team (o. J.):** NodeMcu - Connect Things EASY. Verfügbar unter: https://www.nodemcu.com/index_en.html [23. Juni 2020]
- Parkinson B. (2014):** Soziale Wahrnehmung und Attribution. In: Jonas K., Stroebe W. u. Hewstone M. [Hrsg.] (2014): Sozialpsychologie. Springer-Lehrbuch. S. 66–106. Berlin, Heidelberg. Springer

- Pegels J. (2010):** Privately Influenced Public Spaces – Die Koproduktion von Stadträumen in Melbourne, New York City, Tokio und Santiago de Chile. In: vhw - Bundesverband für Wohnen und Stadtentwicklung e. V. [Hrsg.] (2010): Forum Wohnen und Stadtentwicklung. Band 2. S. 78-82. Berlin
- Precision Microdrives (o. J.):** AB-028: Vibration Motor Comparison Guide. Verfügbar unter: <https://www.precisionmicrodrives.com/content/ab-028-vibration-motor-comparison-guide/> [23. Juni 2020]
- Processing (o. J.):** Processing. Verfügbar unter: <https://processing.org> [23. Juni 2020]
- Rosa-Luxemburg-Stiftung e.V. [Hrsg.] (2005):** Utopie kreativ. Ausgabe 182. Berlin. NDZ Neue Zeitungsverwaltung GmbH
- Rosburg T. (2008):** Tactile ground surface indicators in public places. In: Grunwald M. [Hrsg.] (2008): Human Haptic Perception. S. 491–499. Basel. Birkhäuser
- Rosburg T. (2008):** Tactile ground surface indicators in public places. In: Grunwald M. [Hrsg.] (2008): Human Haptic Perception. S. 491–499. Basel. Birkhäuser
- Sayed T., Zaki M., Tageldin A. (2016):** Automated Pedestrians Data Collection Using Computer Vision. In: Leon-Garcia A. et al. [Hrsg.] (2016): Smart City 360°. SmartCity 360 2016, Smart-City 360 2015. Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering, Issue 166. S. 31-43 Cham. Springer
- Schaeffler, J. (2008):** Digital Signage: Software, Networks, Advertising, and Displays: A Primer for Understanding the Business. Burlington. Focal Press
- Schlegel, A. (2015):** controlP5. Verfügbar unter: <http://www.sojamo.de/libraries/controlP5/> [23. Juni 2020]
- Schmidt F., Schaible HG. [Hrsg.] (2006):** Neuro- und Sinnesphysiologie. Springer-Lehrbuch. Berlin, Heidelberg. Springer
- Stadtwerke Osnabrück (2019):** Osnabrück mit LoRaWan auf dem Weg zur Smart City, Verfügbar unter: <https://www.stadtwerke-osnabrueck.de/unternehmen/alle-meldungen-zum-unternehmen/nachricht/artikel/auf-dem-weg-zur-smart-city.html> [23. Juni 2020]
- Stapelkamp T. (2013):** Orientierung – Wayfinding. In: ders.: Informationsvisualisierung. Web - Print - Signaletik. Erfolgreiches Informationsdesign: Leitsysteme, Wissensvermittlung und Informationsarchitektur. S. 274-327. Berlin, Heidelberg. Springer
- STMicroelectronics (o. J.):** L298. Verfügbar unter: <https://www.st.com/en/motor-drivers/l298.html> [23. Juni 2020]

- Suppé B. (2013a):** Schrittfrequenz. In: Suppé B. u. Bongartz M. [Hrsg.] (2013): FBL Klein-Vogelbach Functional Kinetics praktisch angewandt. S. 17-19. Berlin, Heidelberg. Springer
- Suppé B. (2013b):** Einleitung. In: Suppé B. u. Bongartz M. [Hrsg.] (2013): FBL Klein-Vogelbach Functional Kinetics praktisch angewandt. S. 1-6. Berlin, Heidelberg. Springer
- Suppé B. (2013c):** Schrittlänge. In: Suppé B. u. Bongartz M. [Hrsg.] (2013): FBL Klein-Vogelbach Functional Kinetics praktisch angewandt. S. 45-50. Berlin, Heidelberg. Springer
- Suppé B. (2013d):** Spurbreite. In: Suppé B. u. Bongartz M. [Hrsg.] (2013): FBL Klein-Vogelbach Functional Kinetics praktisch angewandt. S. 35-43. Berlin, Heidelberg. Springer
- Suppé B. (2013e):** Beinachsen und Abrollen des Fußes. In: Suppé B. u. Bongartz M. [Hrsg.] (2013): FBL Klein-Vogelbach Functional Kinetics praktisch angewandt. S. 51-72. Berlin, Heidelberg. Springer
- Suppé B. u. Bongartz M. [Hrsg.] (2013):** FBL Klein-Vogelbach Functional Kinetics praktisch angewandt. Berlin, Heidelberg. Springer
- Thomaschewski, J., Hinderks, A. u. Schrepp, M. (2018):** Welcher UX-Fragebogen passt zu meinem Produkt?. In: Hess, S. u. Fischer, H. [Hrsg.] (2018): Mensch und Computer 2018 - Usability Professionals. S. 437-446. Bonn. Gesellschaft für Informatik e.V. Und German UPA e.V.
- Toepfer G. (2017):** Biologie und Anthropologie der Wahrnehmung. In: Hartung G. u. Herrgen M. [Hrsg.] (2016): Interdisziplinäre Anthropologie. Interdisziplinäre Anthropologie. Band 4. S. 3-49. Wiesbaden. Springer VS
- TomTom (2009):** TomTom Traffic Index, Verfügbar unter: https://www.tomtom.com/en_gb/traffic-index/ranking/ [23. Juni 2020]
- Traeger, D. u. Volk, A. (2001a):** Netzarten, Topologien und Zugriffsverfahren. In: dies.: LAN Praxis lokaler Netze. S. 87-171. Wiesbaden. Vieweg+Teubner Verlag
- Traeger, D. u. Volk, A. [Hrsg.] (2001b):** LAN Praxislokaler Netze. Wiesbaden. Vieweg+Teubner Verlag
- Uebele A. (2008):** Signaletik. In: Weber, W. [Hrsg.] (2008): Kompendium Informationsdesign. S. 425-548. Berlin, Heidelberg. Springer
- vhw - Bundesverband für Wohnen und Stadtentwicklung e. V. [Hrsg.] (2010):** Forum Wohnen und Stadtentwicklung. Band 2. Berlin.
- Warf, B. [Hrsg.] (2014):** GeoJournal 79, Issue 1. S. 1-14. Berlin, Heidelberg. Springer Nature
- Weber, W. [Hrsg.] (2008):** Kompendium Informationsdesign. Berlin, Heidelberg. Springer
- Wenzel P. (2003):** Handbuch Beschilderungsplanung. Planungshilfen für die Konzeption von Fußgänger-Leitsystemen. Hünstetten

WHO Regional Office for Europe (2009): Leitlinien für die Europäische Region gegen Nachtlärm. Copenhagen. Verfügbar unter: https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0017/43316/E92845.pdf [23. Juni 2020]

WHO Regional Office for Europe (2018): Environmental Noise Guidelines for the European Region. Copenhagen. Verfügbar unter: <https://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/noise/publications/2018/environmental-noise-guidelines-for-the-european-region-2018> [23. Juni 2020]

Wuerthele, M. (2017): Inside the iPhone 7: Apple's Taptic Engine, explained. Verfügbar unter: <https://appleinsider.com/articles/16/09/27/inside-the-iphone-7-apples-taptic-engine-explained> [23. Juni 2020]

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Ort, Datum

Unterschrift

Datenträger

