

# Mensch-Maschinen-Schnittstelle mit Vibrationsaktoren zum „Fühlen“ von Texten

Jan Krämer<sup>1</sup>

**Abstract:** In diesem Paper wird ein Vibrationsgürtel zum „Fühlen“ von Texten vorgestellt. Der Fokus liegt dennoch auf dem Erkennen einzelner Buchstaben. Dieser Vibrationsgürtel stellt allgemeiner eine Mensch-Maschinen-Schnittstelle über den Tastsinn dar, mit der prinzipiell beliebige Daten übertragen werden können.

**Keywords:** Mensch-Maschinen-Schnittstelle; Tastsinn; Vibrationsgürtel; Text fühlen

## 1 Einleitung

In unserer Interaktion mit Computer spielt der Tastsinn, mit Ausnahme der Hände und deren motorischen Fähigkeiten eine eher untergeordnete Rolle. So ist nur das Anzeigen neuer Nachrichten (mittels Vibration) eine verbreitete Smartphonefunktion. Der Tastsinn könnte aber gerade durch die fast vollständige Verdeckung mittels Kleidung ein interessanter Weg der Kommunikation mit Maschinen darstellen. Des Weiteren wird die für den Alltag wichtige visuelle und auditive Wahrnehmung nicht blockiert, wie es z.B: durch Kopfhörer oder Bildschirme der Fall ist. Motivation war die Entwicklung eines Gürtels mit dem eingehende Kurznachrichten „gefühl“ werden können.

Schon Rittmannsberger hat 1968 zu der Vibrationsempfindung geforscht [Rit68] und Bäuerle spricht 1973 bereits von dem Tastsinn als Sinnesprothese beispielsweise für Gehörlose [Bäu73]. Arbeiten in einer ähnlichen Richtung wurden von Chu und Peng unternommen. Sie haben das Erkennen von Buchstaben mit einem 2x2 Layout von Vibratoren auf der Rückseite eines Smartphones untersucht [CP18]. Darüber hinaus haben Kaspar u. a. untersucht wie sich ein Vibrationsgürtel als eine Art Kompass nutzen lässt und so einen Magnetsinn schafft [Kas+14]. Novich und Eagleman haben mit einer Vibrationsweste und dem Ziel gesprochene Sprache zu erkennen, den Datendurchsatz des Tastsinns und Wahrnehmung von Vibrationsmustern untersucht [NE15].

---

<sup>1</sup> DHBW Karlsruhe, Informatik, Erzbergerstraße 121, 76133 Karlsruhe BW mail@jan-kraemer.de

## 2 Methoden

### 2.1 Apparatur



Abb. 1: Rückseite des Vibrationsgürtels mit Elektronik

Die Schnittstelle zum Tastsinn wurde mit einem selbst entwickelten Vibrationsgürtel geschaffen. Als Basis für diesen wurde ein Taillengürtel mit gummierter Innenseite und einem Klettverschluss gewählt. Der Vibrationsgürtel ist mit 16 Vibratoren ausgestattet und wird mit einer tragbaren Elektronik angesteuert. Der Vibrationsgürtel kann Abbildungen 1 und 2 entnommen werden. Alle 16 Vibratoren können einzeln angesteuert werden. Bei den Vibratoren handelt es sich um Linear-Resonanz-Aktoren, die auch in Smartphones verbaut werden. Diese wurden auf den Gürtel aufgenäht und auf der Rückseite mit der Elektronik verbunden (vgl. Abbildung 1). Die Vibratoren haben jeweils einen Abstand von 10cm zueinander und der Gürtel ist auf einen Taillenumfang von 90cm ausgelegt, bei diesem Umfang haben auch die äußeren Vibratoren eine Distanz von 10cm. Diese Distanz liegt somit über der, von Rittmannsberger bestimmten minimalen Distanz von 4-8cm [Rit68]. Das diese Unterscheidbarkeit auch in diesem konkreten Setup gegeben ist, konnte mit einem Versuch nochmals bestätigt werden. Die Ansteuerung erfolgt durch eine eigens entwickelte Smartphone-App über Bluetooth. Für das Training wurde eine weitere Anwendung entwickelt, welche das Training auf Basis der Ergebnisse anpassen kann und die Daten live visualisiert.

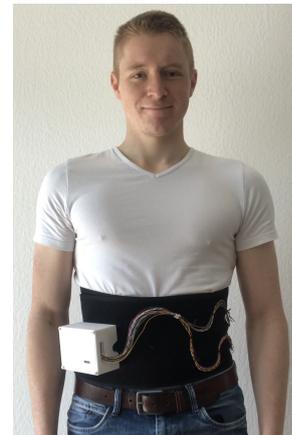


Abb. 2: Vibrationsgürtel am Körper getragen

### 2.2 Codierung

Die Codierung von Text zu Vibrationen lässt viele Möglichkeiten zu, so können alle 16 Vibratoren zeitlich völlig frei angesteuert werden, um entsprechende Muster zu generieren. Damit ein Großteil der Schriftsprache abgebildet werden kann, wird eine Codierung auf Basis von Buchstaben gewählt. So können beliebige Wörter zu Vibrationen codiert werden. Alternativen wären z. B. Codierungen auf Basis von Wortsilben oder Phonemen der gesprochenen Sprache, diese wurden aber nicht weiter untersucht.

### 2.3 Zufällige Mustergenerierung

In einem ersten Versuch wurden Muster auf Basis der Hamming-Distanz einer binär Repräsentation<sup>2</sup> generiert. Dazu wurden systematisch alle Muster mit zwei, drei und vier Einsen in dieser Repräsentation generiert und es wurde eine Liste mit ca. gleich vielen Mustern<sup>3</sup> dieser drei Gruppen zusammengestellt, sodass jedes Muster zu jedem anderen ausgewählten Muster eine Hamming-Distanz von 2 Bit hat. Die Muster wurden alle für eine Dauer von 200ms vibriert und hatten keine zeitlichen Variation. Ein Training mit diesen Mustern, die auf 56 Zeichen abgebildet wurden, zeigte jedoch sehr schlechte Ergebnisse, sodass ohne weitere Untersuchung ein neuer Ansatz zur Mustergenerierung gewählt wurde.

### 2.4 Individualisierte Muster

Durch die Erkenntnis im ersten Versuch wurde eine neue Codierung erstellt und die Anzahl der Zeichen auf 34 reduziert. Als Basis wurden zunächst systematisch Muster mit 3 aktiven Vibratoren generiert und diese wurden anschließend interaktiv angepasst. Dazu wurden manuell die Muster getestet, wurden zwei sehr ähnliche Muster identifiziert, wurden diese verändert. Nach einigen Veränderungen entstanden die Muster, welche in Auflistung 3 abgebildet sind. Es wurde sowohl die Anzahl der Vibrationen pro Zeichen als auch die Dauer der jeweiligen Vibrationen variiert. Dies macht jedes individuelle Muster deutlich komplexer dadurch aber auch eindeutiger. Abbildung 4 zeigt beispielhaft eine Visualisierung für die Codierung der Zeichen „a“ und „b“. Es ist für jeden der 16 Vibratoren der Zustand über eine Dauer von 500ms visualisiert, die blauen Balken stellen den aktiven Zustand bzw. eine Vibration dar.

```

'a' -> (00000001000000|150ms),(01100000000000|150ms)
'b' -> (0000000100011001|200ms)
'c' -> (0010000100000001|200ms)
'd' -> (0000000101000001|200ms)
'e' -> (0000000000000011|150ms),(000000000001100|150ms)
'f' -> (0001001000000010|200ms)
'g' -> (0000001000100010|200ms)
'h' -> (0100001000000010|200ms)
'i' -> (0000000000001100|150ms),(0000010000000000|150ms)
'j' -> (0000000000000101|250ms)
'k' -> (0000110000000000|200ms),(0000000000110000|200ms)
'l' -> (00100100000000100|200ms)
'm' -> (0000010001000100|250ms)
'n' -> (10000100000000100|200ms)
'o' -> (0000000000000011|150ms),(0000000100000001|150ms)
'p' -> (0000110000000010|200ms)
'q' -> (0000110000100000|200ms)
'r' -> (0100110000000000|200ms)
's' -> (0000110010000000|150ms)
't' -> (0000000000110001|200ms)
'u' -> (0000000000110000|150ms),(0001000000010000|150ms)
'v' -> (0000000000110100|150ms)
'w' -> (0000000000110000|300ms)
'x' -> (1000000000110000|200ms)
'y' -> (0110000100000000|300ms)
'z' -> (0101000000000010|150ms)
'0' -> (0000000000000000|150ms),(0000000011000000|200ms)
'1' -> (1000000000000000|150ms),(0000000000000011|200ms)
'2' -> (1000000000000000|150ms),(0000000000110000|200ms)
'3' -> (0000000001100000|150ms)
'4' -> (00000000011001|350ms)
'5' -> (0000000011000000|200ms),(000000000001100|200ms)
'6' -> (000000000011000|150ms),(0000000001100000|150ms),(000000000011000|150ms)
'7' -> (000000000010000|150ms),(00000000001000|150ms),(000000000000100|150ms)
'8' -> (000000000010000|150ms),(00000000001000|150ms),(000000000000100|150ms)

```

Abb. 3: Vibrationscodierung aller Zeichen

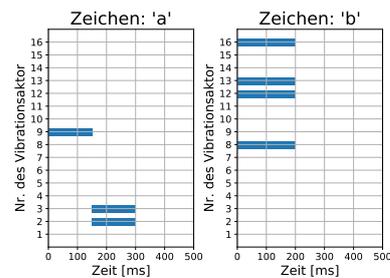


Abb. 4: Zeitliche Visualisierung der Vibrationscodierung der Zeichen „a“ und „b“

<sup>2</sup> Für die Repräsentation der Muster wurde ein 16 Bit String genutzt. Jedes Bit repräsentiert den Zustand eines Vibrators für ein bestimmtes Zeitintervall. Die ersten acht Bit stehen für die obere Reihe Vibratoren auf dem Vibrationsgürtel und die letzten acht Bit für die untere Reihe.

<sup>3</sup> Die tatsächliche Zusammenstellung erfolgte mit einer zufälligen Auswahl.

## 3 Versuche

### 3.1 Versuch 1: Buchstaben erkennen

In diesem Versuch wurde die entwickelte Codierung verwendet. Es wurde ein Zeichen vibriert und anschließend hatte der Proband alle 34 Zeichen zur Auswahl. Die Vibration durfte wiederholt werden und es gab keine Zeitbeschränkung für die Auswahl. Sobald die Auswahl getroffen war, wurde ein neues zufälliges Zeichen vibriert. Die hier vorgestellten Daten stammen aus einem Datensatz mit 826 vibrierten Buchstaben. Der Versuch wurde lediglich an einem männlichen Probanden, Alter 22, durchgeführt und kann somit nicht als repräsentativ gewertet werden. Zuvor fanden zwei Durchgänge mit 1000 und mit 539 vibrierten Zeichen statt. Es erfolgte also bereits ein Lernprozess.<sup>4</sup>

### 3.2 Versuch 2: Wörter erkennen

Ein weiterer Versuch zum Erkennen ganzer Wörter, soll zeigen, ob sich das Erkennen einzelner Buchstaben auch auf Wörter übertragen lässt. Dazu wurde die gleiche Codierung wie für Buchstaben verwendet. Die Buchstaben wurden im Wort jeweils mit einer Pause von 200ms sequenziell vibriert. Dabei fand zunächst die Vibration des Wortes statt und anschließend wurde dem Probanden eine Auswahl von fünf Wörter präsentiert. Die Vibration konnte nicht wiederholt werden und es bestand keine zeitliche Beschränkung der Auswahl. Auch dieser Versuch wurde lediglich an einem Probanden durchgeführt und kann somit nicht als repräsentativ gewertet werden. Es handelte sich um den gleichen Probanden wie im ersten Versuch.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Buchstaben erkennen

Das Ergebnis war eine Erkennungsrate von 93%. Abbildung 5a zeigt eine Erkennungsmatrix, wo die Ergebnisse *vibriertes Zeichen* und *ausgewählten Zeichen* gegeneinander aufgetragen sind. Die Farbintensität spiegelt die Häufigkeit wider. In dieser Erkennungsmatrix ist zu erkennen, dass bestimmte Buchstaben immer wieder verwechselt wurden. Teilweise können diese Verwechslungen auf Ähnlichkeiten der Muster zurückgeführt werden. Daraus lässt sich schließen, dass die individualisierten Muster noch nicht ideal sind.

Abbildungen 5b und 5c zeigen eine Analyse der Auswahl des Probanden. Diese zwei Histogramme zeigen, dass die Auswahl meist 1-2s dauerte und, dass die Vibration meist nicht wiederholt wurde, obwohl dies möglich war.

---

<sup>4</sup> Der erste Durchgang wurde mit einer Erkennungsrate von 86% und der zweite Durchgang mit einer Erkennungsrate von 92% abgeschlossen.

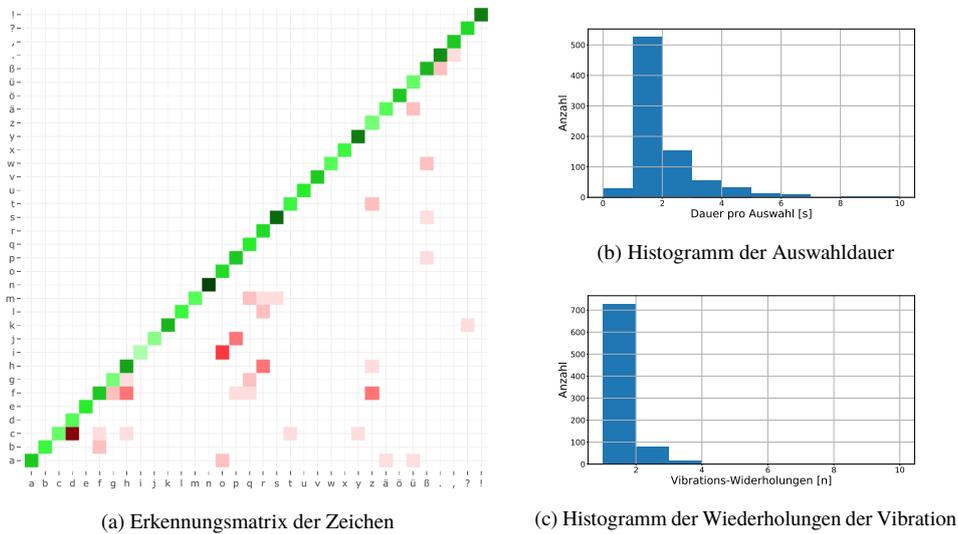


Abb. 5: Analyse Versuch 1

## 4.2 Wörter erkennen

Der Versuch zeigte sehr schnell, dass die gute Erkennung der Buchstaben sich nicht direkt auf Worte übertragen lässt. Allein aus der Vibration des Wortes war dessen Erkennung nicht möglich. Die Erkennungsrate fiel mit 80% dennoch recht gut aus, was sich durch die beschränkte Auswahl von fünf Wörtern erklären lässt. So konnte das Wort bereits durch das Erkennen ein paar weniger Buchstaben aus dieser Auswahl identifiziert werden. Aussagekräftiger als die Erkennungsrate ist eine Beschreibung des Probanden:

*Während und nach der Vibration hat man keine Ahnung, um welches Wort es sich handelt. Eine Erkennung war nicht möglich, man nimmt lediglich eine Struktur war. Interessant ist aber, sobald die Auswahl der Wörter erscheint, hat man eine gewisse Intuition für das richtige Wort. Diese Intuition könnte sich aus wenigen erkannten Buchstaben, markanter Silben und der Wortlänge bilden. Die Vibrationen fühlen sich im ganzen Wort verschieden zu Vibrationen der einzelnen Buchstaben an und werden schnell abgespielt. Beim Erkennen von Worten scheint es auf Silben und Buchstabengruppen anzukommen.*

## 5 Diskussion

Kann Text mit Vibrationen „gefühl“ werden?

Das Erkennen von ganzen Texten konnte so im Versuch nicht bestätigt werden, allerdings konnten Buchstaben mit einer Erkennungsrate von 93% gut erkannt werden. Die Ergebnisse

des zweiten Versuchs sollten dennoch nicht zu dem Schluss führen, dass das Erkennen ganzer Worte nicht funktioniert. Dieser Versuch zeigt nur, dass sich das gute Erkennen von Buchstaben nicht direkt auf Worte übertragen lässt. Chu und Peng konnten mit dem 2x2 Layout von Vibratoren auf der Rückseite eines Smartphones eine Erkennungsrate von 84.6% erreichen. Der hier vorgestellte Vibrationsgurt mit den individualisierten Vibrationsmustern kann diese also mit 93% übertreffen, obwohl es sich um 34 Zeichen und nicht nur 26 Buchstaben handelte. Es sei aber nochmal darauf hingewiesen, dass die vorgestellten Ergebnisse nicht repräsentativ sind und für den Vibrationsgurt 16 Vibratoren verwendet wurde.

## 6 Ausblick

Der zweite Versuch konnte bereits Anhaltspunkte für Modifikationen des Worttrainings geben. So könnte das Lernen von Wortsilben und kleineren Buchstabengruppen helfen ganze Worte besser zu erkennen. Auch ein generell größerer Trainingsumfang könnte Fortschritte bewirken, sodass gelernte Vibrationsmuster nicht mehr explizit bewusst identifiziert werden, sondern mit entsprechendem Training schneller unterbewusst erkannt werden. Des Weiteren sind die Vibrationsmuster, eine Verbesserung des Vibrationsgürtels (Erhöhung des Tragekomforts und Nutzung anderer Körperregionen) und andere Daten als Text spannende Themen zum Weiterarbeiten.

## Literatur

- [Bäu73] R. Bäuerle. „Informationsübertragung durch elementare taktile Signale“. In: *Kybernetik* 13.3 (Sep. 1973), S. 172–181. ISSN: 03401200. DOI: 10.1007/BF00270512.
- [CP18] Shaowei Chu und Mei Peng. „Designing a 2 × 2 spatial vibrotactile interface for tactile letter reading on a smartphone“. In: *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*. Bd. 10907 LNCS. Springer Verlag, 2018, S. 327–336. ISBN: 9783319920511. DOI: 10.1007/978-3-319-92049-8\_24.
- [Kas+14] Kai Kaspar u. a. „The experience of new sensorimotor contingencies by sensory augmentation“. In: *Consciousness and Cognition* 28.1 (2014), S. 47–63. ISSN: 10902376. DOI: 10.1016/j.concog.2014.06.006.
- [NE15] Scott D. Novich und David M. Eagleman. „Using space and time to encode vibrotactile information: toward an estimate of the skin’s achievable throughput“. In: *Experimental Brain Research* 233.10 (Okt. 2015), S. 2777–2788. ISSN: 14321106. DOI: 10.1007/s00221-015-4346-1.
- [Rit68] Norbert Rittmannsberger. „Über die Vibrationsempfindung bei örtlich verteilter Reizung der Haut“. In: *Kybernetik* 4.5 (Mai 1968), S. 190–194. ISSN: 03401200. DOI: 10.1007/BF00289041.