

Potentiale haptischer Rückmeldungen bei berührungsempfindlichen Bildschirmen im Fahrzeug

Abschlußbericht Diplomarbeit

Diplomand:

Betreuer BMW:

Betreuer LMU:

Hendrik Richter

Dipl.Ing.Christopher Deisler

Dipl. Medieninf. Ronald Ecker



Themen

Verwandte Arbeiten zum Thema

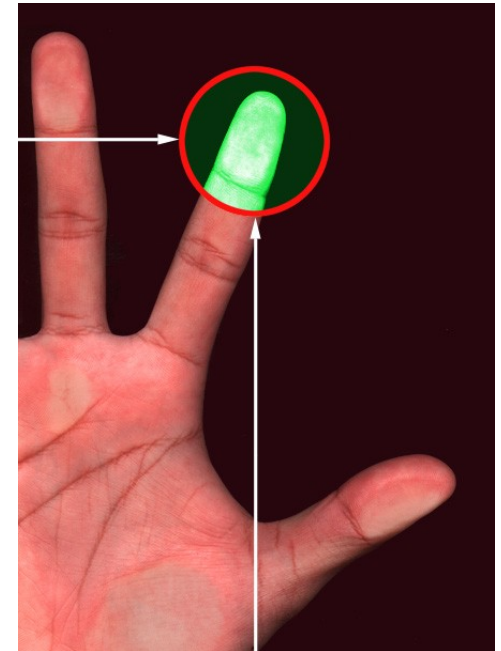
- Wissenschaftlich
- Kommerziell

Interaktionstechniken & taktiler Feedback

- Vorteile
- Generalisierung

Ergebnisse der Arbeit

- Modelle
- Systementwicklung
- Pilotstudie



<http://www.acm.org/crossroads/xrds3-3/haptic.html>

Verwandte Arbeiten „Haptischer Touchscreen“

Wissenschaftliche Arbeiten



Abb1: Multitasking und kognitive Belastung bei Verwendung mobiler Endgeräte

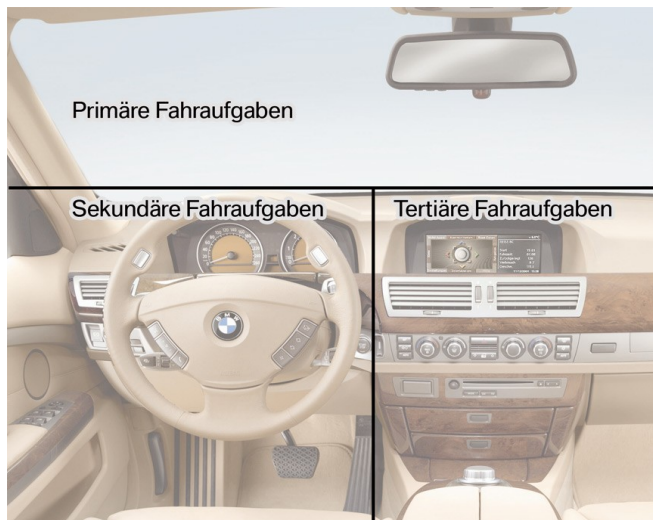


Abb2: Räumliche Aufteilung der Fahraufgaben

Mobile Endgeräte

Gegebenheiten:

- Multitasking
- Visueller + auditiver Kanal belegt
- kognitive Belastung
- Geschwindigkeit
- Performanz
- Likeability

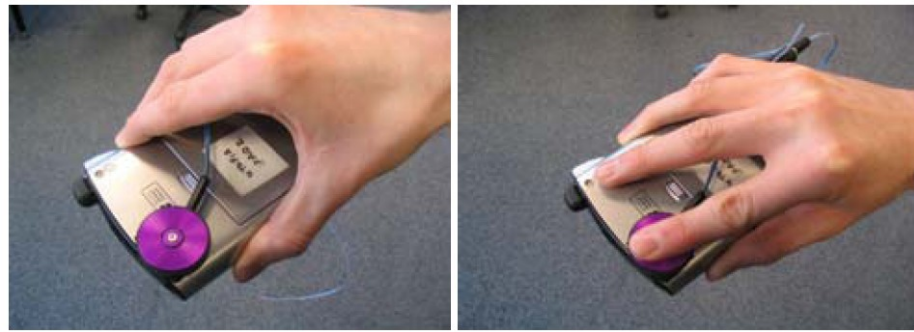
Automotivumgebung

Gegebenheiten:

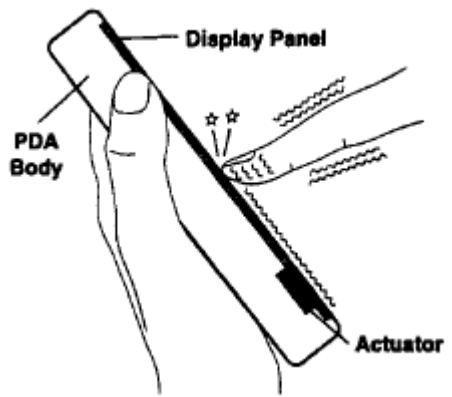
- Multitasking
- Visueller + auditiver Kanal belegt
- kognitive Belastung
- geringe Ablenkung von Fahrzeugführung
- Performanz
- Likeability
- **Sicherheit**

Verwandte Arbeiten „Haptischer Touchscreen“

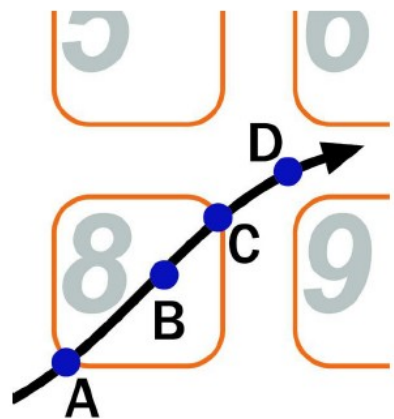
Wissenschaftliche Arbeiten



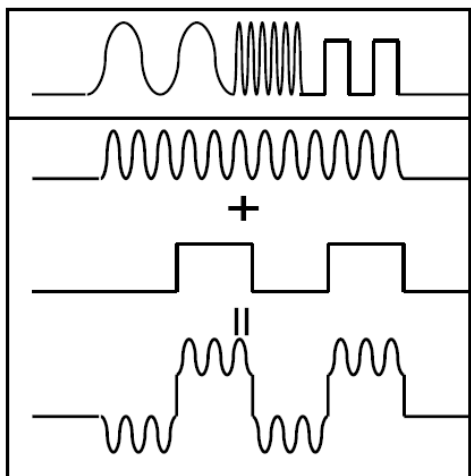
Brewster, S., Chohan, F., and Brown, L. 2007. Tactile feedback for mobile interactions. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (San Jose, California, USA, April 28 - May 03, 2007).



Fukumoto, M. and Sugimura, T. 2001. Active click: tactile feedback for touch panels. In *CHI '01 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* (Seattle, Washington, March 31 - April 05, 2001).

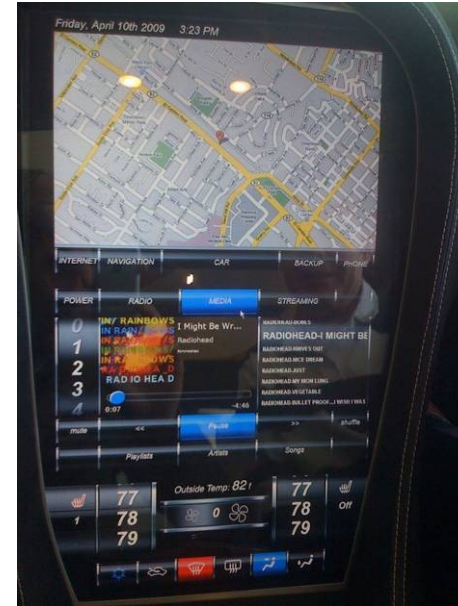


Nashel, A. and Razzaque, S. 2003. Tactile virtual buttons for mobile devices. In *CHI '03 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* (Ft. Lauderdale, Florida, USA, April 05 - 10, 2003).



Enriquez, M., MacLean, K., and Chita, C. 2006. Haptic phonemes: basic building blocks of haptic communication. In *Proceedings of the 8th international Conference on Multimodal interfaces* (Banff, Alberta, Canada, November 02 - 04, 2006). ICMI '06.

Verwandte Arbeiten „Haptischer Touchscreen“ Kommerzielle Arbeiten



Tesla Model S

- Elektro-Konzeptfahrzeug von Tesla Motors
- Prototyp im März 2009
- Produktion ab 2011
- Preis 57.400 \$
 - 17-Zoll Display mit taktilen Feedback
 - FIS
 - Touch-Display für Entertainment und Klima und Navigation
 - Haptisches Feedback bei Touchbedienung (Immersion)



Was kann taktiles Feedback in Verbindung mit Touchscreentechnologie leisten?

Positionsvermittlung

RL Klatzky, SJ Lederman, C Reed: There's more to touch than meets the eye: The salience of object attributes for haptics with and ...- *Journal of Experimental Psychology: General*, 1987

Feedback nach erfolgter Interaktion

Poupyrev, I., Maruyama, S., and Rekimoto, J. 2002. Ambient touch: designing tactile interfaces for handheld devices. In *Proceedings of the 15th Annual ACM Symposium on User interface Software and Technology* (Paris, France, October 27 - 30, 2002).

Codierung von Information und Funktion

Chang, D., Nesbitt, K. V., and Wilkins, K. 2007. The gestalt principles of similarity and proximity apply to both the haptic and visual grouping of elements. In *Proceedings of the Eight Australasian Conference on User interface - Volume 64* (Ballarat, Victoria, Australia, January 30 - February 02, 2007).

Entlastung visueller/ auditiver Kanal

Hoggan, E., Brewster, S. A., and Johnston, J. 2008. Investigating the effectiveness of tactile feedback for mobile touchscreens. In *Proceeding of the Twenty-Six Annual SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (Florence, Italy, April 05 - 10, 2008).

Kognitive Belastung reduzieren

Leung, R., MacLean, K., Bertelsen, M. B., and Saubhasik, M. 2007. Evaluation of haptically augmented touchscreen gui elements under cognitive load. In *Proceedings of the 9th international Conference on Multimodal interfaces* (Nagoya, Aichi, Japan, November 12 - 15, 2007).

Joy of Use/ Ease of Use

Koskinen, E., Kaaresoja, T., and Laitinen, P. 2008. Feel-good touch: finding the most pleasant tactile feedback for a mobile touch screen button. In *Proceedings of the 10th international Conference on Multimodal interfaces* (Chania, Crete, Greece, October 20 - 22, 2008).

Geschwindigkeits- und Performanzvorteile

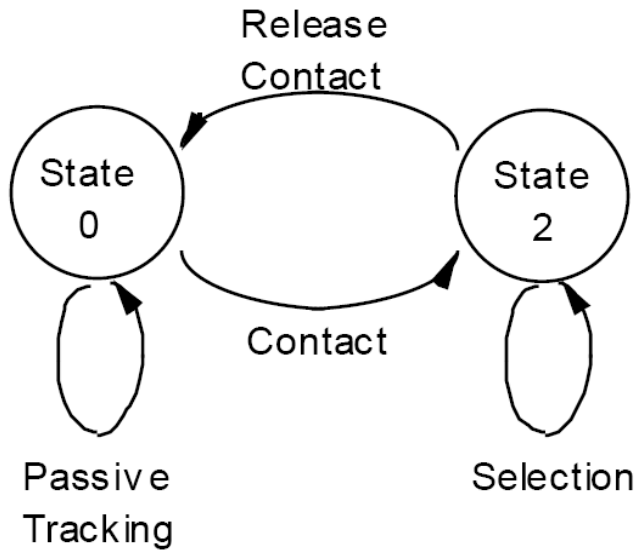
Hoggan, E., Brewster, S. A., and Johnston, J. 2008. Investigating the effectiveness of tactile feedback for mobile touchscreens. In *Proceeding of the Twenty-Six Annual SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (Florence, Italy, April 05 - 10, 2008).

Verwandte Arbeiten

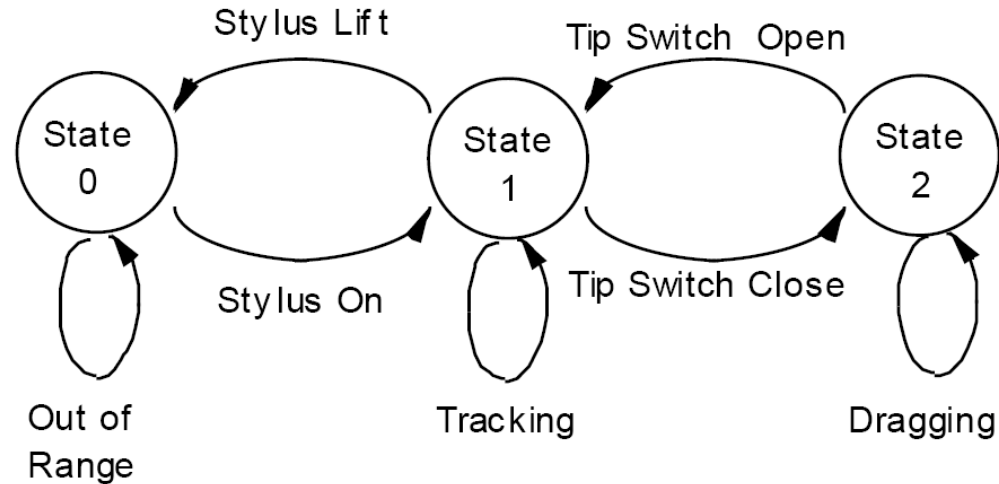
Interaktionsmodelle



Touchscreen



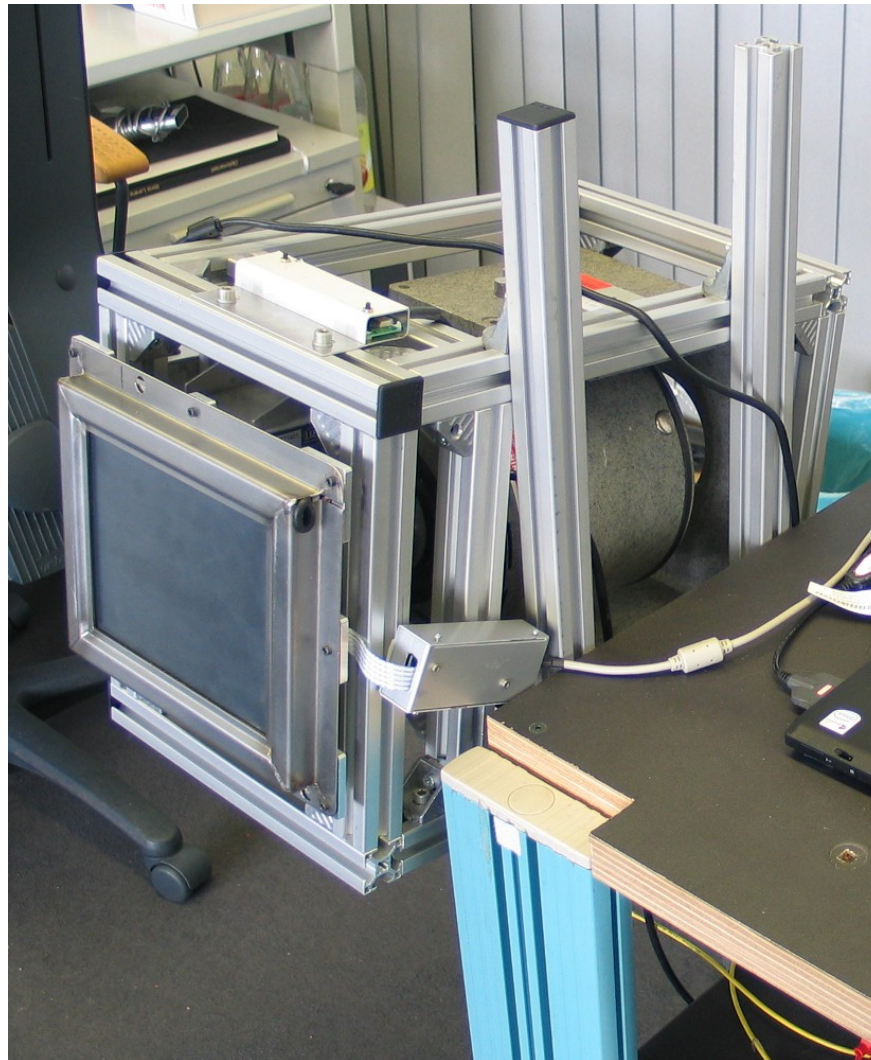
Grafik-Tablett mit Stylus



Buxton, W. (1990). A Three-State Model of Graphical Input. In D. Diaper et al. (Eds), *Human-Computer Interaction - INTERACT '90*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V. (North-Holland), 449-456.

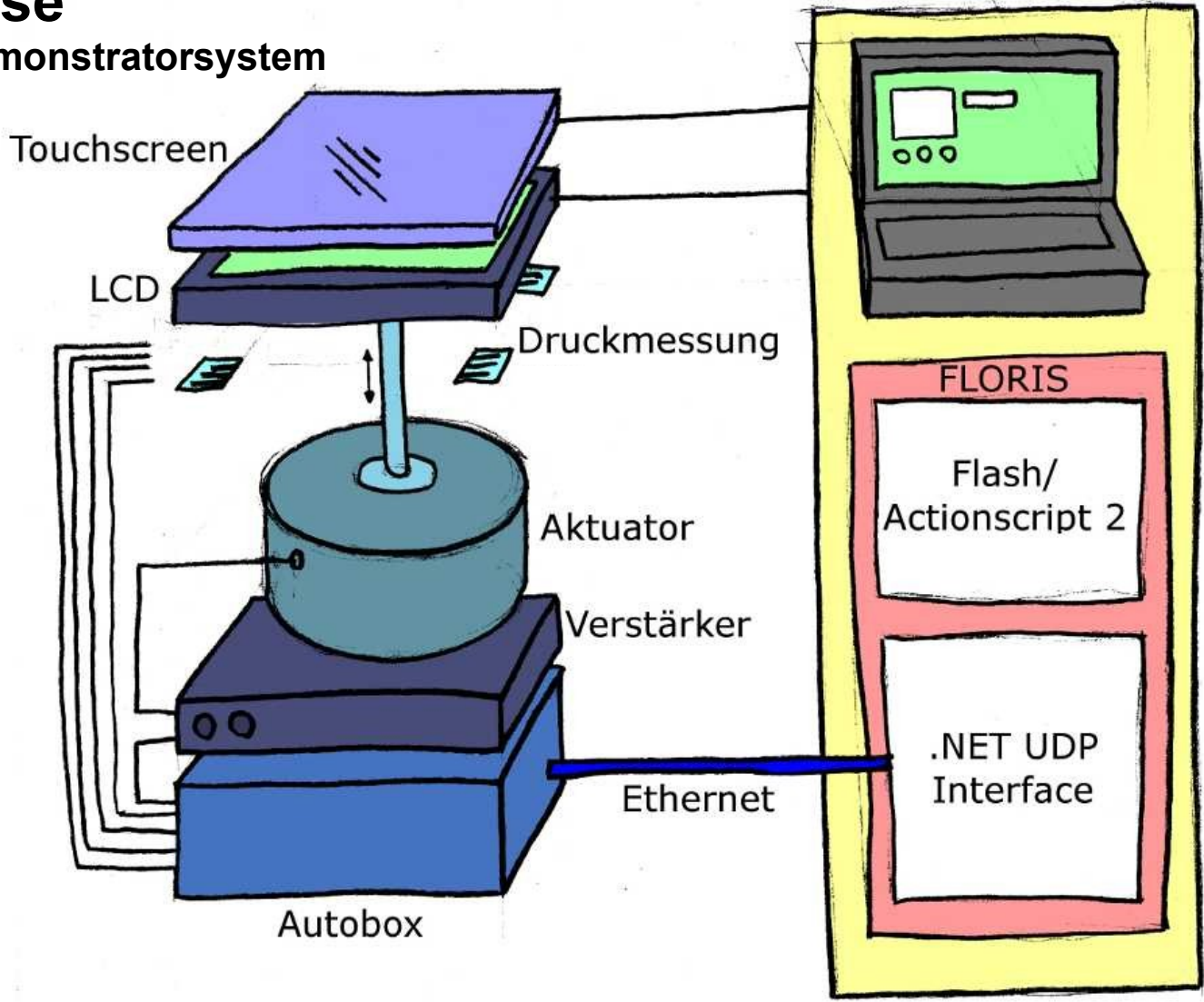
Ergebnisse

Hardware



Ergebnisse

Übersicht Demonstratorsystem



Ergebnisse

Software

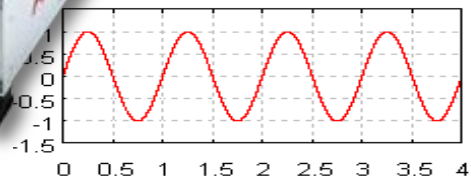
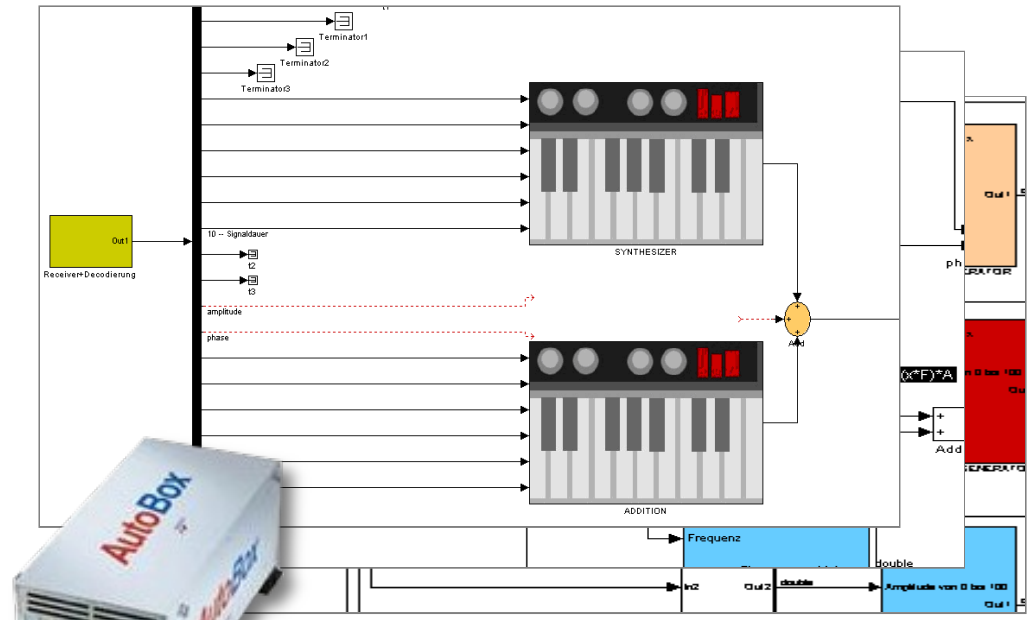
Real-Time-System auf Autobox:

- 1) Verarbeitung der Drucksignale
- 2) UDP-Empfang/Decodierung
- 3) UDP-Codierung/Senden
- 4) Haptik- bzw. Schwingungserzeugung:

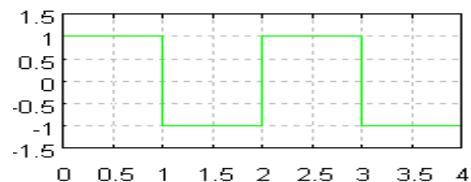
Zwei Synthesizer

- Parameter:
 - Typ (Sinus, Rechteck, Sägezahn)
 - Frequenz
 - Amplitude
 - Phase
 - Schalter
 - Dauer

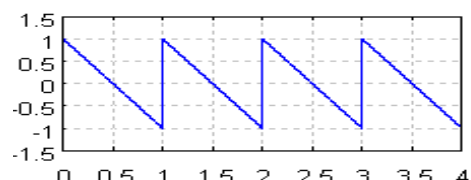
- Additive Signalmischung
- Systemzuständen zuweisbar
- umfangreiche Möglichkeiten



$$f(x) = A \sin(2\pi Fx)$$



$$f(x) = A \cdot (-1)^{\lfloor Fx \rfloor}$$

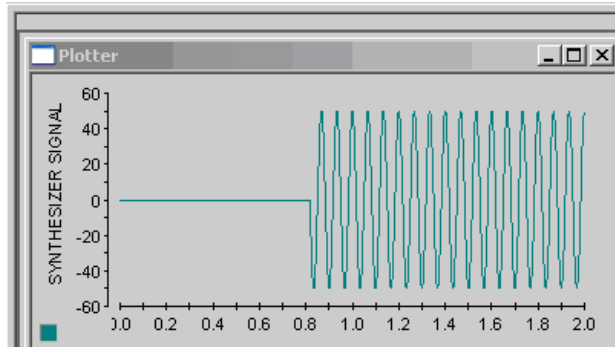


$$f(x) = -2A(Fx - \lfloor Fx \rfloor) + A$$

Ergebnisse

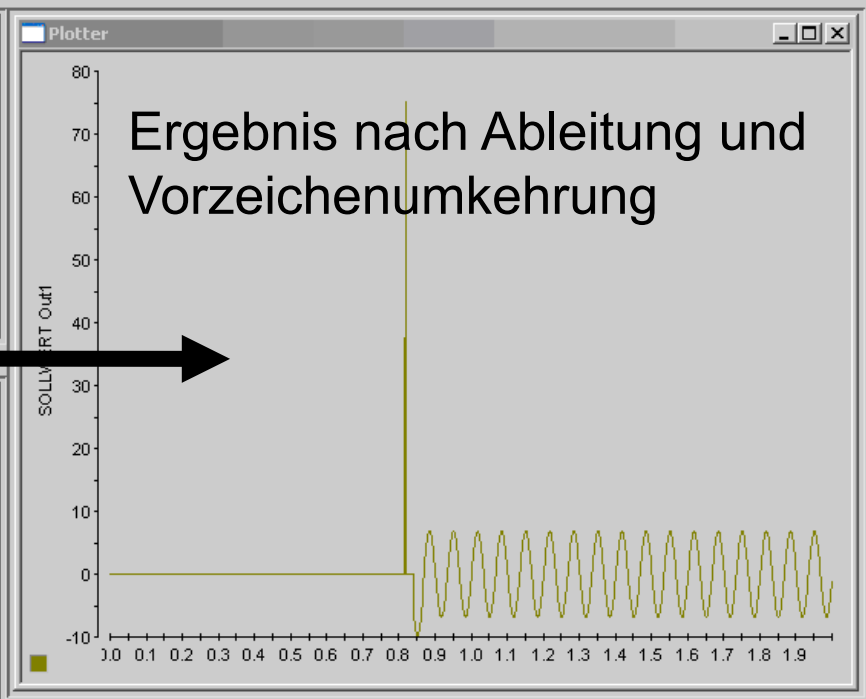
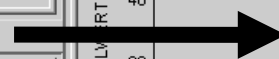
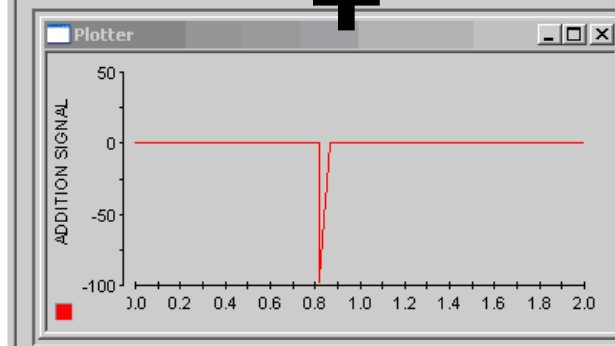
Additive Haptiksynthese

Sinus
15 Hz
50% Amplitude
Dauer: 5000ms



+

Sägezahn
10Hz
75% Amplitude
Dauer: 50ms



Ergebnisse

Hardware

Verwendete Touchscreen-Events:

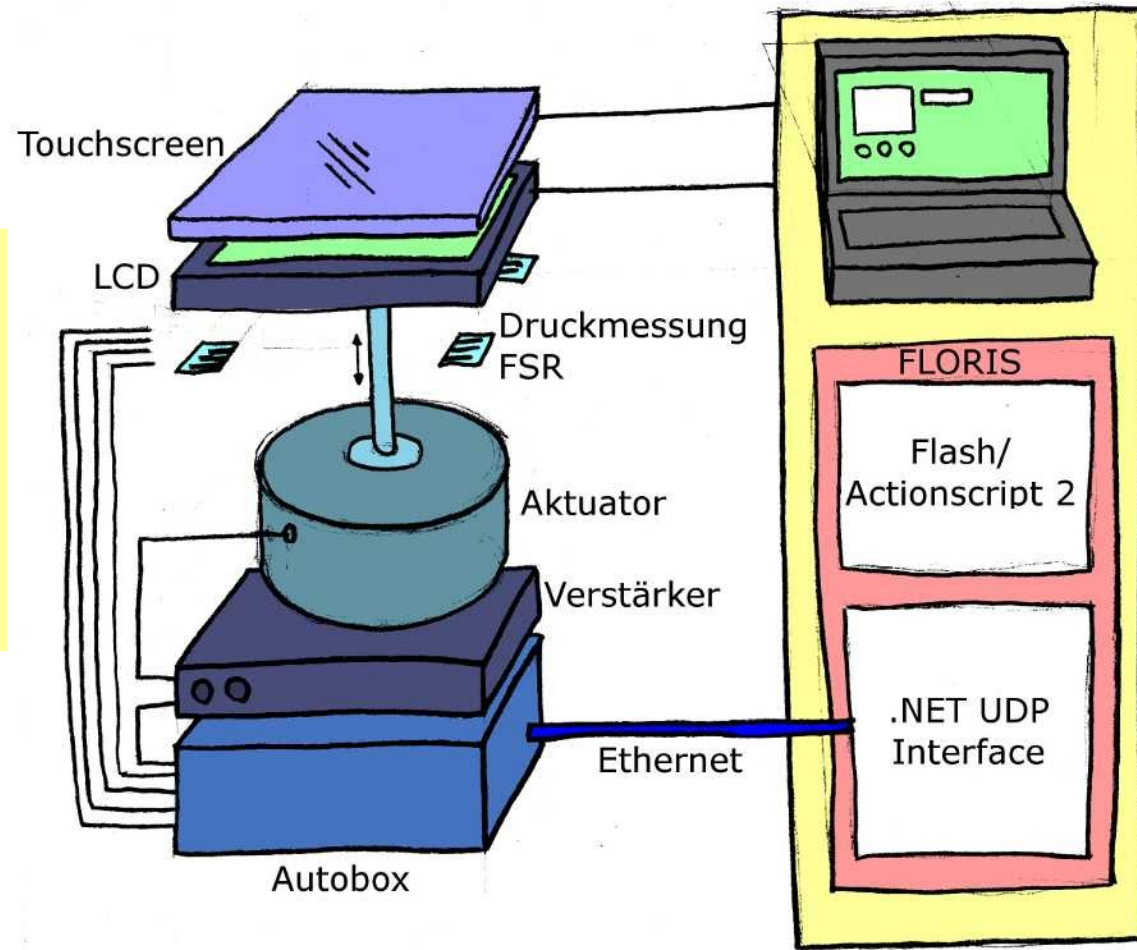
- 1) Globaler Press/Release

Verwendete Actionscript-Events:

- 2) Position: RollOver/HitTest/RollOut

Verwendete Druckmessungs-Events:

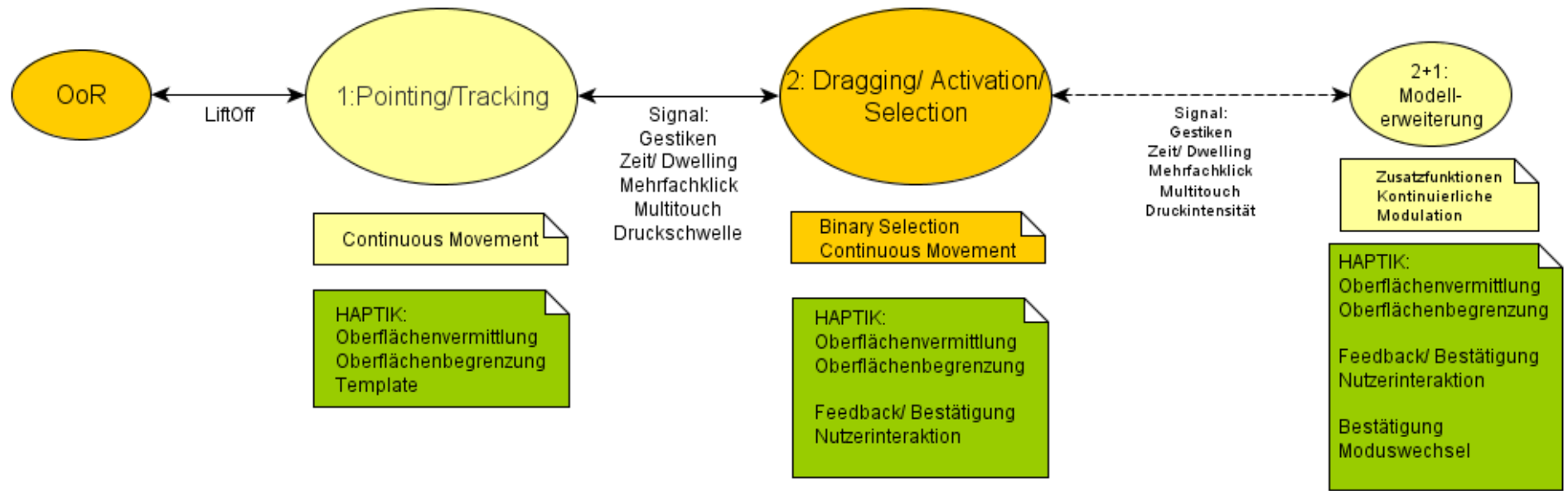
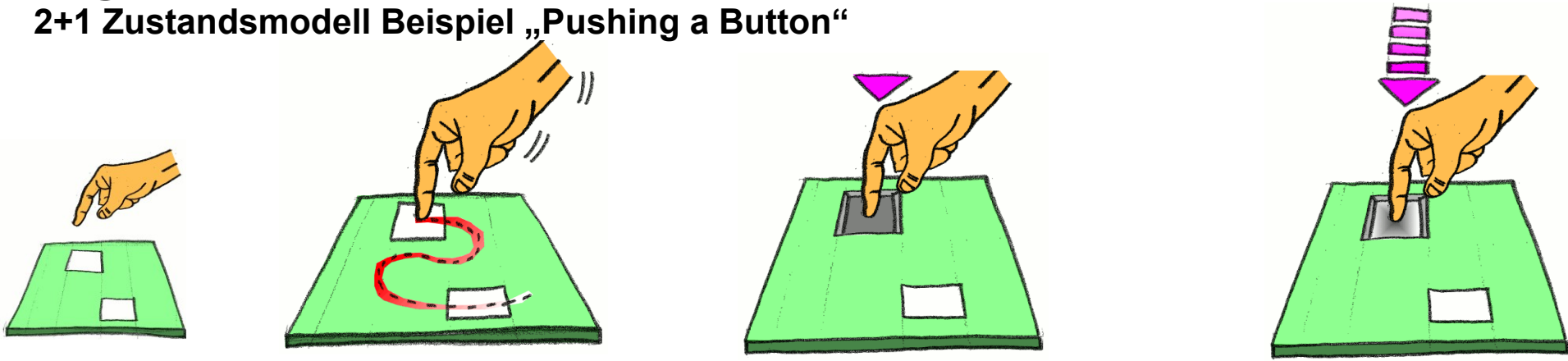
- 3) Definierte Schwellenwerte
- 4) Kontinuierliche Veränderung





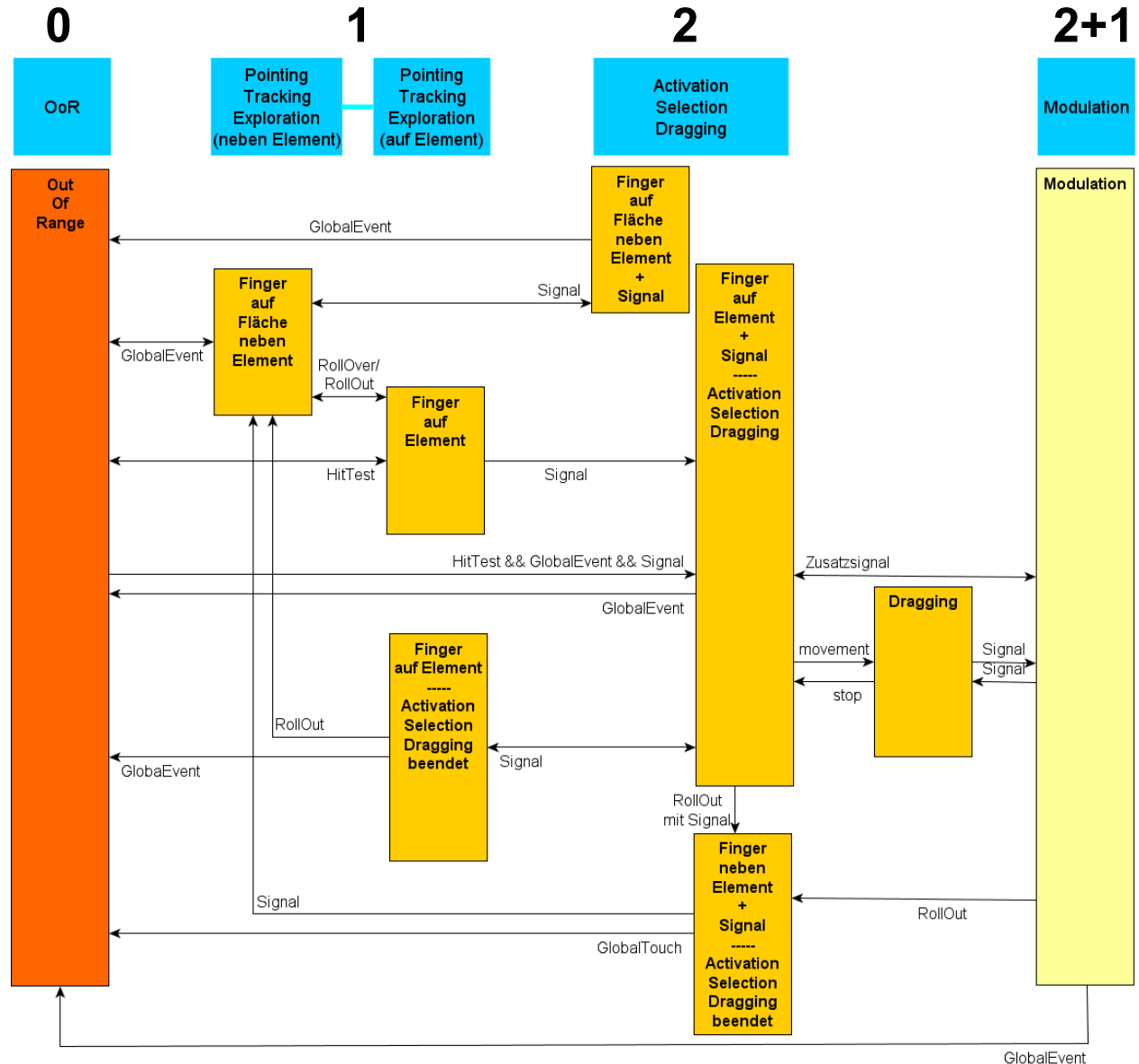
Ergebnisse

2+1 Zustandsmodell Beispiel „Pushing a Button“



Ergebnisse

2+1 Zustandsmodell

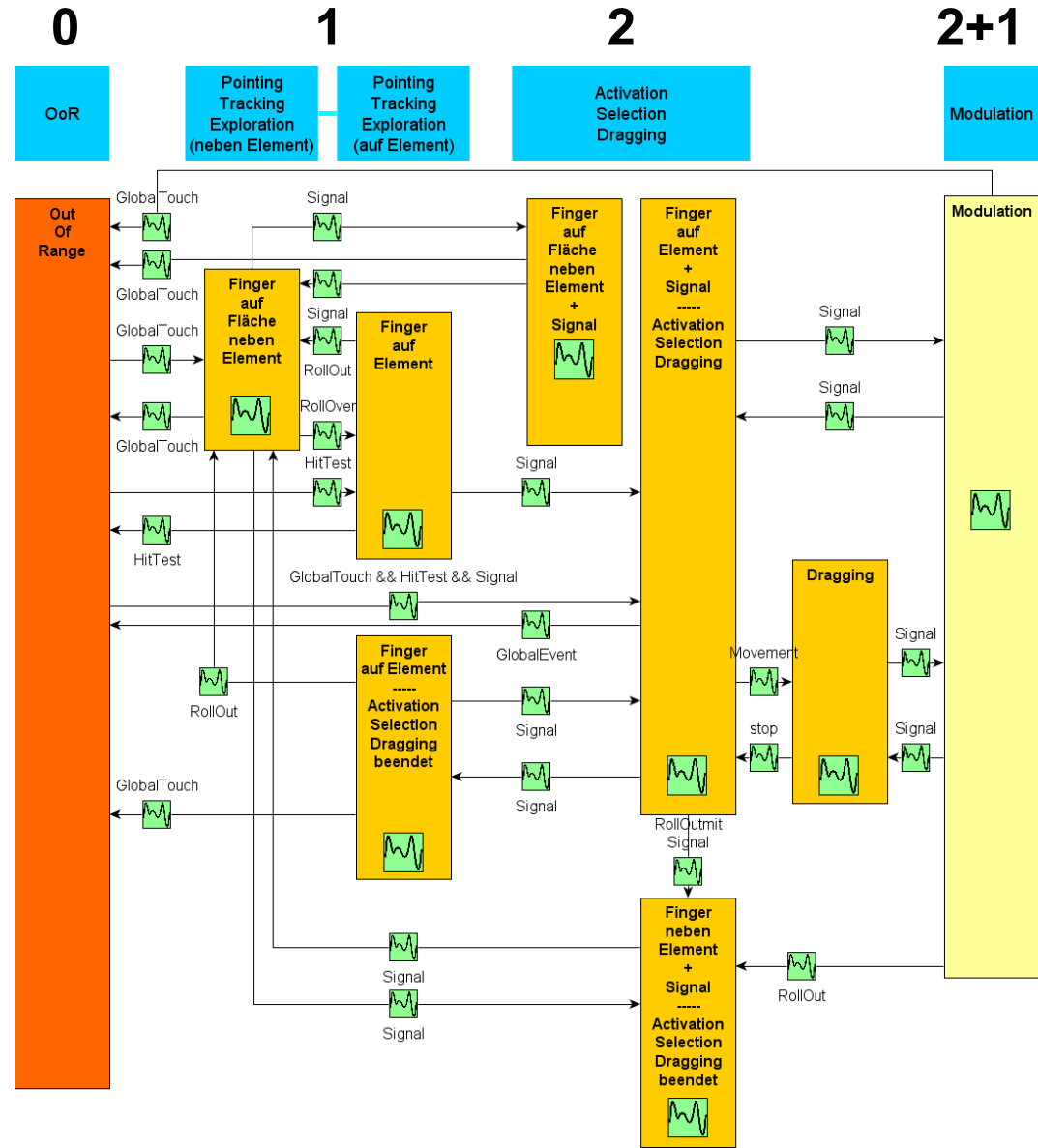


Ergebnisse

2+1 Zustandsmodell mit Ansatzpunkten für haptisches Feedback

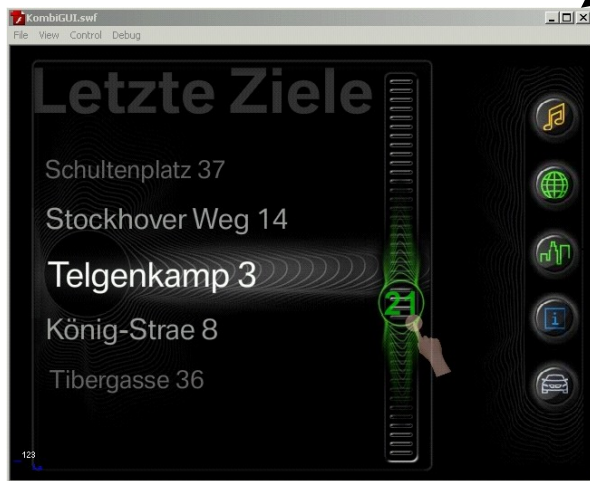
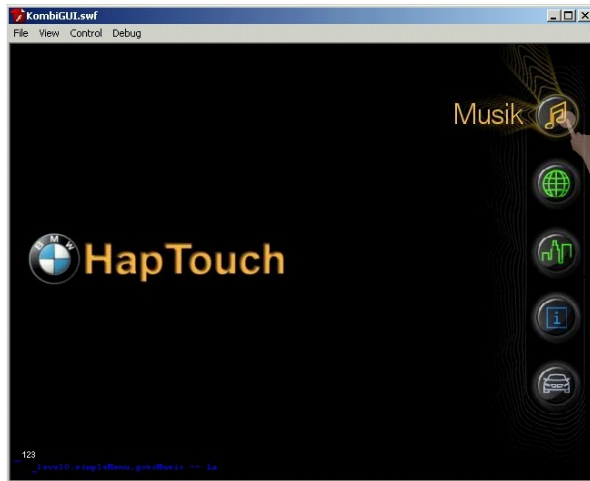
Permanente Zustände

Transiente Zustandsübergänge



Ergebnisse

Demo-GUI mit haptischem Feedback



**Integrierte
Interaktionstechniken mit
taktilem Feedback:**

Pointing/ Tracking

Activation

Selection

Dragging

Moduswechsel

(Grundlage:
Expertenbefragung/
Customization GUI)

Ergebnisse

Customization-GUI für Spezialfall „Button“

level0.hugeFormular.hapticButton -- 0a

Button mit taktilem Feedback

Synthesizer

	ob		oc		1a		1b		2	
Type	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Freq	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Amp	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Phase	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
on/off	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Dura	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Integrierte Interaktionstechniken:

- vereinfachte State-Machine
- Haptikmuster für jeden Zustand frei per Formular definierbar
- Automatische Codegenerierung für Haptikmusterbibliothek

Fragestellungen

Weniger **visuelle Aufmerksamkeit** durch Ortsvermittlung und permanente Signale ?

Geringere Fehlerrate durch Funktionsvermittlung und permanente Signale ?

Geringere Fehlerrate durch Feedback nach erfolgter Interaktion ?

Kleinere Funktionsflächen bei gleicher Bedienzeit und Fehlerrate ?



Evaluierungstechniken

Okklusionsmethode – ISO16673:

- Misst Anforderung an visuellen Kanal (bei Interaktion mit in-vehicle-systems) im fahrenden Auto
- Augen im 1.5 sek Rhythmus verdeckt/unverdeckt
- R-Quotient: $\text{Total-Shutter-Open-Time} / \text{Total-Task-Time-Unoccluded}$



Weniger **visuelle Aufmerksamkeit** durch Ortsvermittlung und permanente Signale?

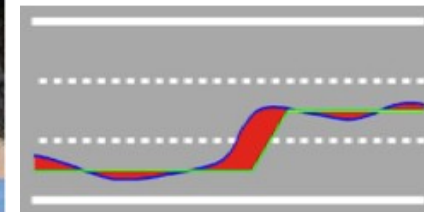
Geringere Fehlerrate durch Funktions-vermittlung und permanente Signale?

Geringere Fehlerrate durch Feedback nach erfolgter Interaktion?

Kleinere Funktionsflächen bei gleicher Bedienzeit und Fehlerrate?

Lane-Change-Task – ISO26022 Draft :

- Misst Ablenkung des Fahrers von Fahraufgabe durch Interfacebedienung während Fahrt - Doppelaufgabe
- Usability-Lab, Fahrsim, Mock-Up oder Fahrzeug
- Liefert MDEV/Fahrperformance, Bearbeitungsdauer, Fehlerrate (Vergleich mit normativen Modell)
- Durch **Blicktracking**: Messung der benötigten visuellen Aufmerksamkeit



Pilotstudie

Versuchsaufbau

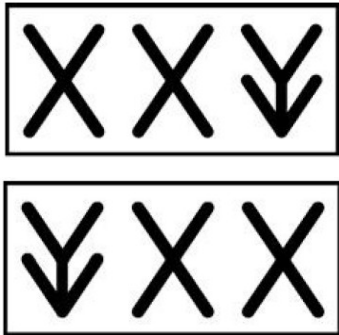


Gründe für die Pilotstudie:

- Trends
- Evaluationstechnik analysieren
- Studiendesign modifizieren
- Hypothesen

Pilotstudie

Fahraufgabe

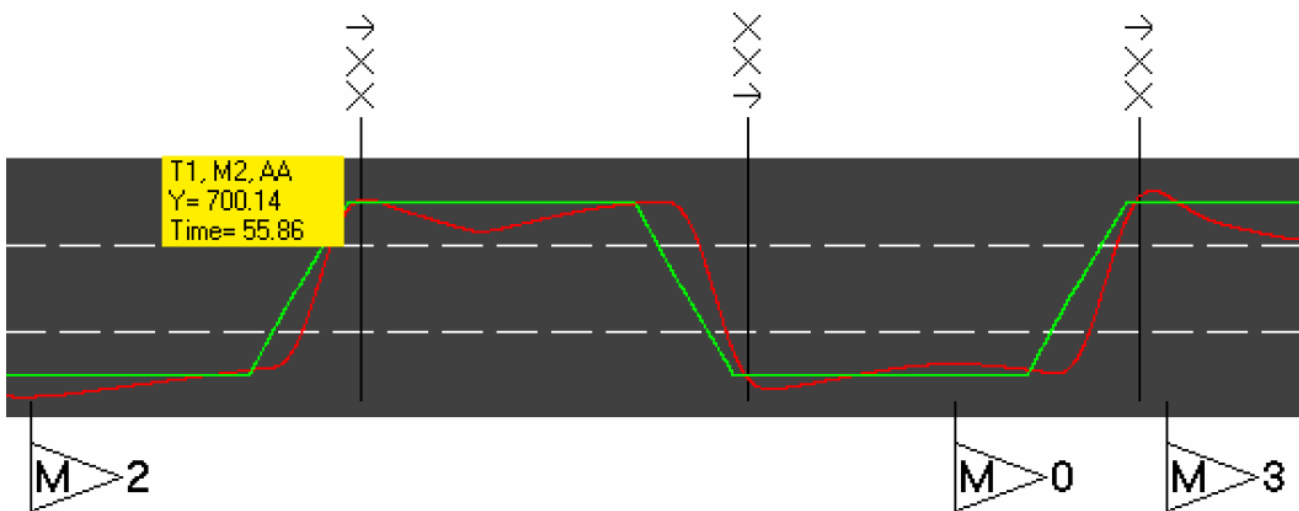


Lane-Change-Test

- Gerade Strecke
- 18 Schilder
- Konstant 60 km/h
- Schnellstmöglicher Spurwechsel
- Spur halten
- Extremsituation

Pilotstudie

Ergebnisse Fahraufgabe

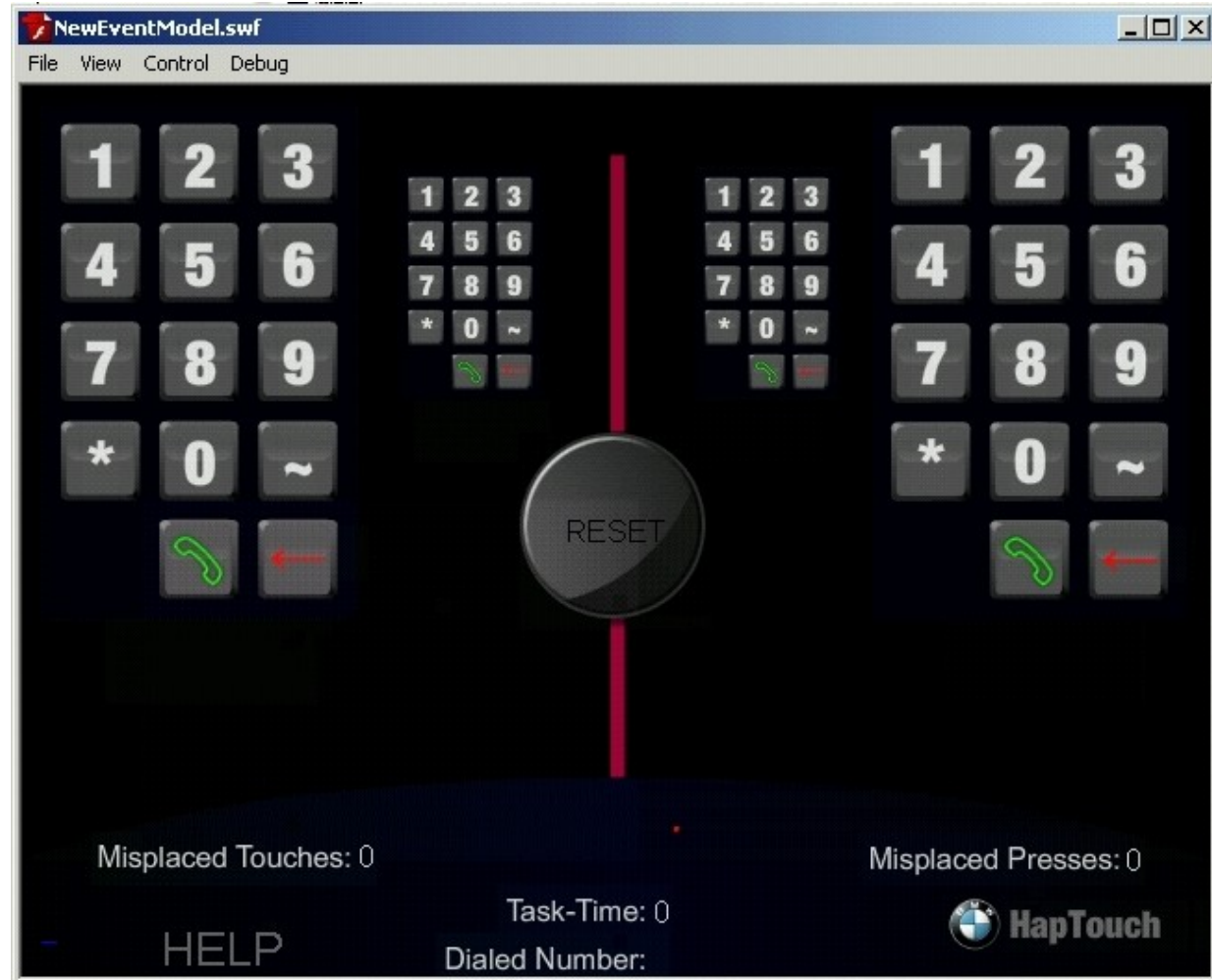


- Quantitative Daten
- Mittlere Spurabweichung von Ideallinie = **MDEV** Fläche zwischen Ideallinie und gefahrenen Linie (in m²)
dividiert durch Länge des gefahrenen Kurses (in m)
- Liefert Aussage über **Fahrperformance** während Bedienung einer Nebenaufgabe

Pilotstudie

Nebenaufgabe Touchscreen

- Vergleich klassischer Touch / HapTouch
- Eingabe einer siebenstelligen Nummer
- Dreimal hintereinander
- Gemessene Werte:
 - Eingabedauer
 - Fehler
- Bei Zeitstart: Marker beim LCT setzen
- Bei Druck auf grüne Taste: Marker



ClassicTouch

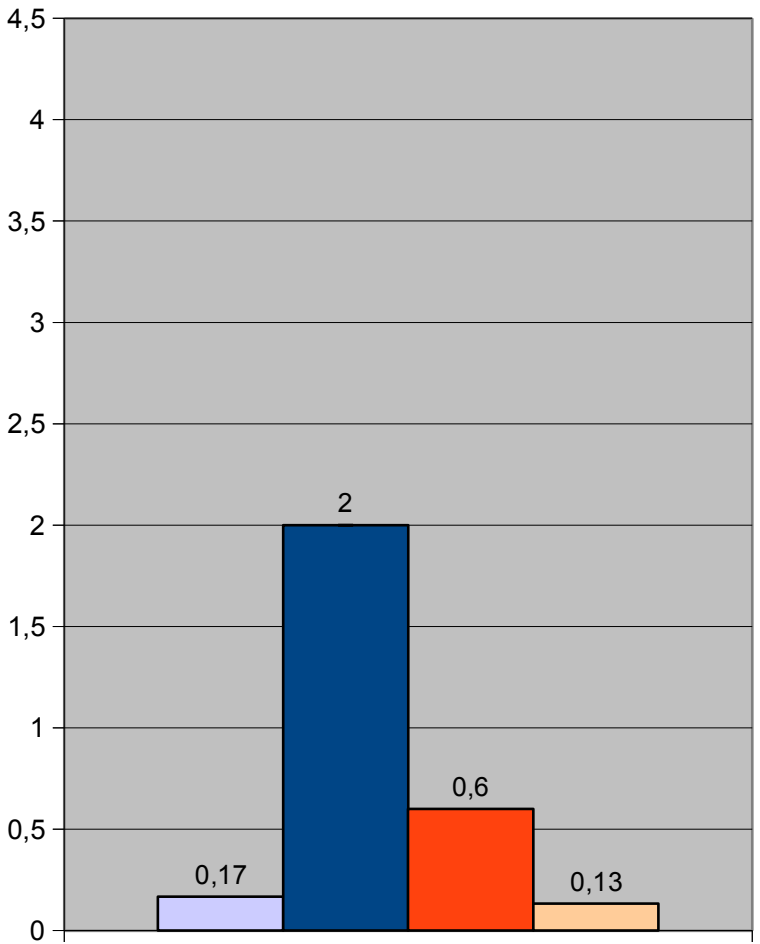
HapTouch



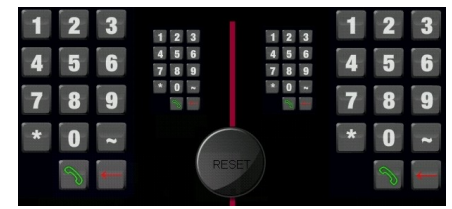
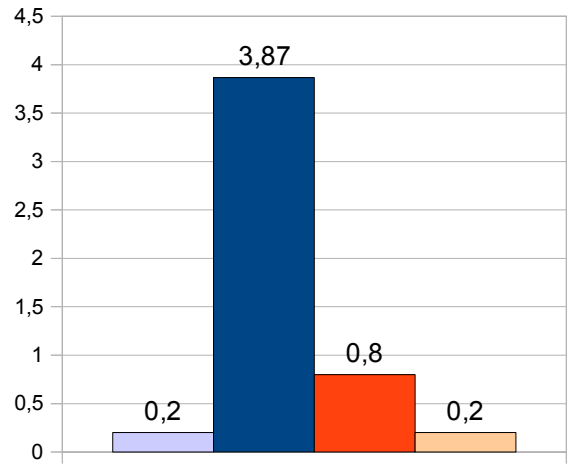
Pilotstudie

Ergebnisse: Fehler

Anzahl Fehler pro Eingabe (n=5)



Anzahl der verfehlten Tasten (n=5)

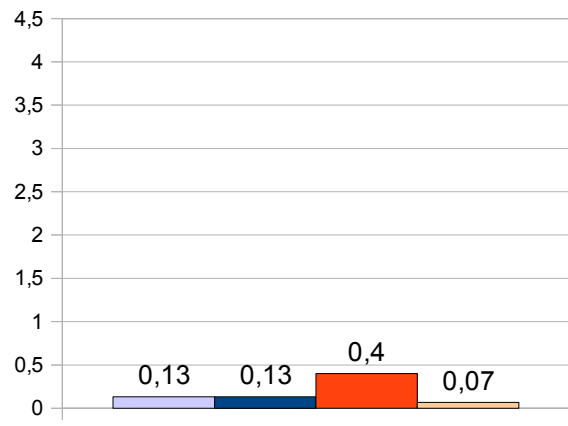


ClassicTouch

HapTouch

- ClassicTouch groß
- ClassicTouch klein
- HapTouch klein
- HapTouch groß

Fehler in der eingegebenen Nummer (n=5)

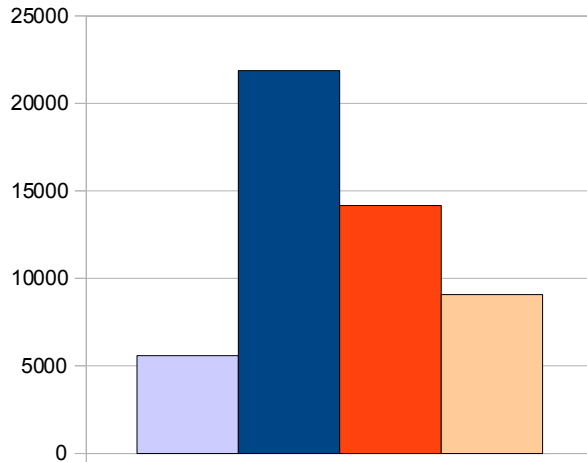




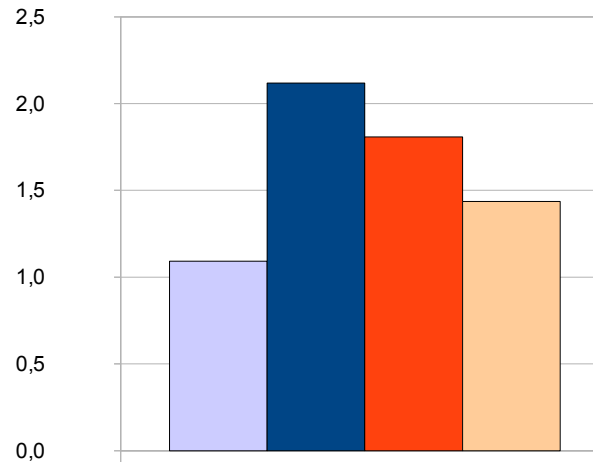
Pilotstudie

Ergebnisse: Zeit und MDEV

Benötigte Zeit (n=5)



MDEV (n=5)

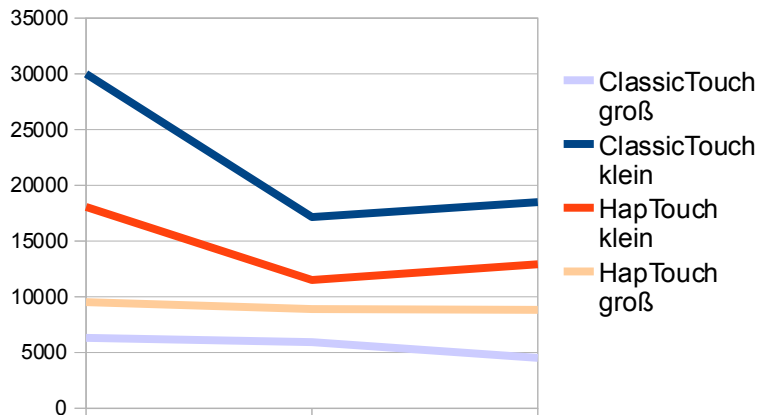


ClassicTouch

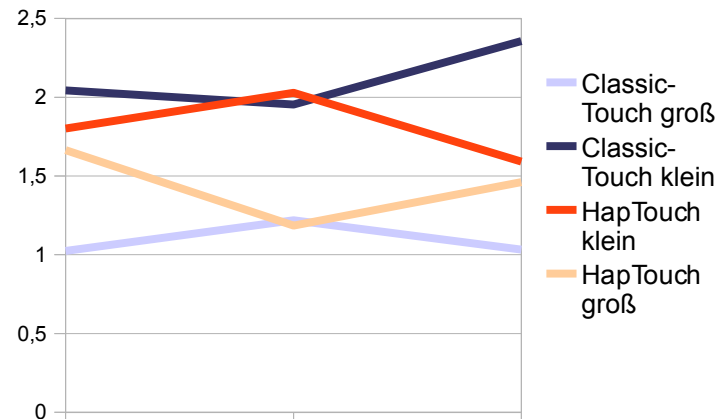
HapTouch

- ClassicTouch groß
- ClassicTouch klein
- HapTouch klein
- HapTouch groß

"Lernkurve" Zeit (n=5)



"Lernkurve" MDEV (n=5)

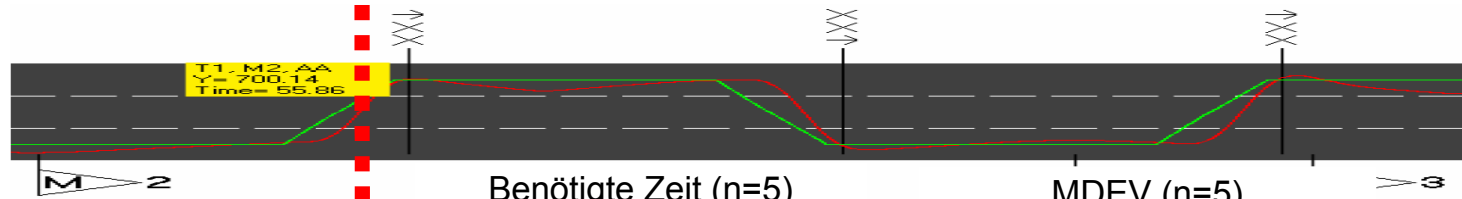


Pilotstudie

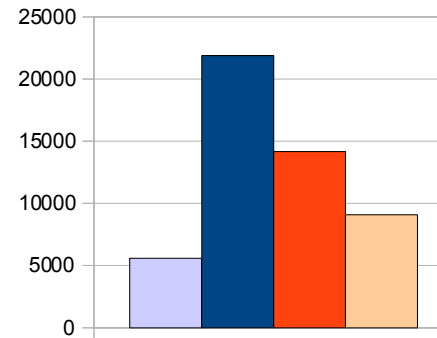
Diskussion

Setting 1

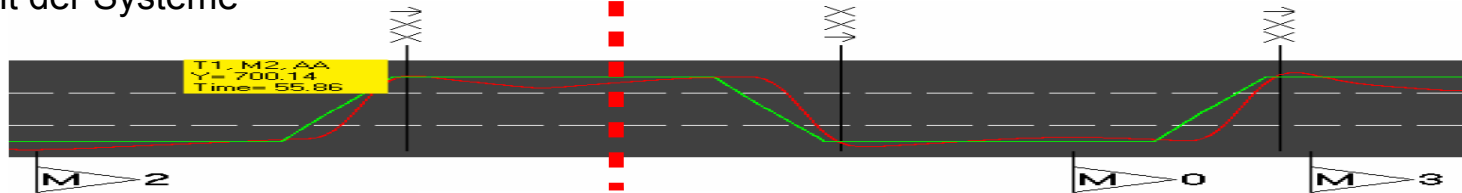
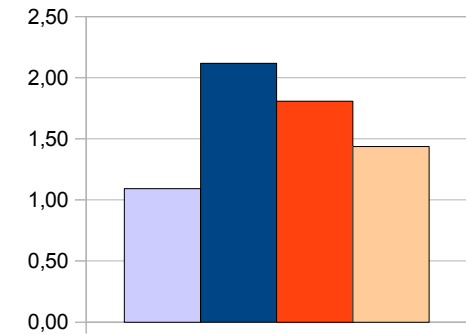
- Kommando „Eingabe“ 1s vor Schild
- Nicht immer einen Lane-Change
- Schnelle Eingabe, um Lane-Change zu vermeiden
- MDEV von Zeit abhängig
- systematische Verzerrung
- Keine Vergleichbarkeit der Systeme



Benötigte Zeit (n=5)



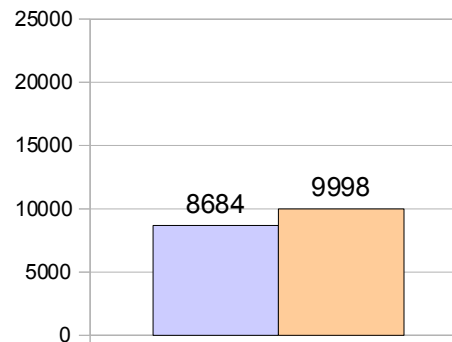
MDEV (n=5)



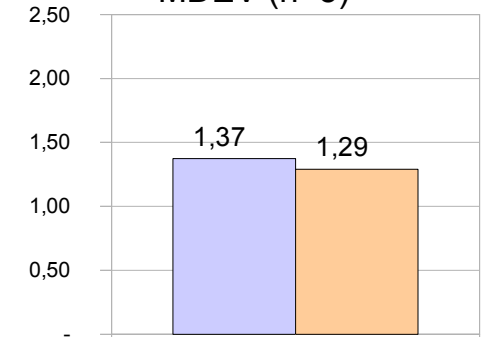
Setting 2

- Kommando „Eingabe“ 5s nach Schild
- Immer mindestens einen Lane-Change
- MDEV nicht direkt von Zeit abhängig

Benötigte Zeit (n=5)



MDEV (n=5)



- ClassicTouch groß
- ClassicTouch klein
- HapTouch klein
- HapTouch groß

Pilotstudie

Diskussion

Probleme:

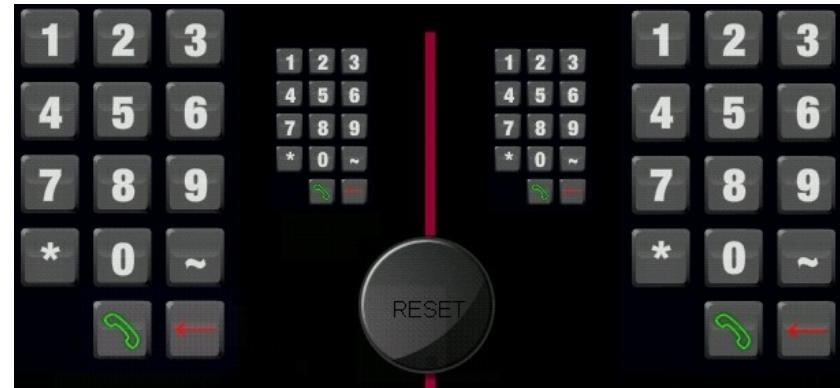
- Positionierung der Eingabeflächen
- unterschiedlicher Bedienabstand
- Länge der Tasks
- Anzahl der Wiederholungen
- Lerneffekte, Training

Verbesserungen im Studiendesign:

- statistisch belastbare Werte:
 - mehr Teilnehmer
 - längere Tasks
 - mehr Wiederholungen

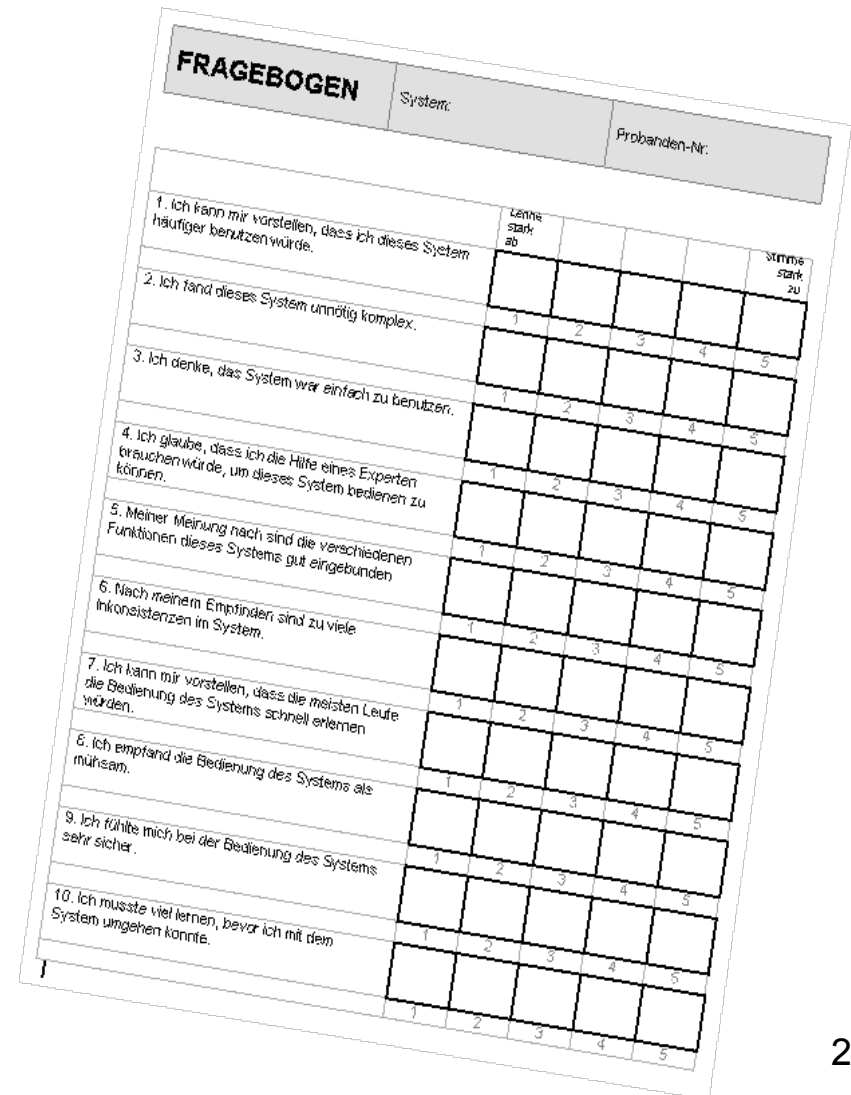
Standardfahrt ohne Extremsituationen:

- Eingabezeit nicht der bestimmende Faktor
- Realismus
- Eigene Bedienstrategien entwickelbar



Pilotstudie SUS-Fragebogen

- **System Usability Scale**
- *Quick and Dirty*
- Subjektiver Eindruck von Usability
- Systemvergleich
- 10 Fragen:
 - **Effektivität:** Bewältigung einer Aufgabe
 - **Effizienz:** Aufwand bei Nutzung
 - **Zufriedenheit:**
- Punktevergabe auf (fünfstufiger) Likert-Skala
- Unterschiedliche Gewichtung
- Wert zwischen 0 und 100



FRAGEBOGEN System: _____ Probanden-Nr.: _____

	1	2	3	4	5
1. Ich kann mir vorstellen, dass ich dieses System häufiger benutzen würde.					
2. Ich fand dieses System unnötig komplex.					
3. Ich denke, das System war einfach zu benutzen.					
4. Ich glaube, dass ich die Hilfe eines Experten brauchen würde, um dieses System bedienen zu können.					
5. Meiner Meinung nach sind die verschiedenen Funktionen dieses Systems gut eingebunden.					
6. Nach meinem Empfinden sind zu viele Inkonsistenzen im System.					
7. Ich kann mir vorstellen, dass die meisten Leute die Bedienung des Systems schnell erlernen werden.					
8. Ich empfand die Bedienung des Systems als mühsam.					
9. Ich fühlte mich bei der Bedienung des Systems sehr sicher.					
10. Ich musste viel lernen, bevor ich mit dem System umgehen konnte.					



Pilotstudie

Ergebnisse: Simple Usability Scale

1. Ich kann mir vorstellen, dass ich dieses System häufiger benutzen würde.

2. Ich fand dieses System unnötig komplex.

3. Ich denke, das System war einfach zu benutzen.

4. Ich glaube, dass ich die Hilfe eines Experten brauchen würde, um dieses System bedienen zu können.

5. Meiner Meinung nach sind die verschiedenen Funktionen dieses Systems gut eingebunden.

6. Nach meinem Empfinden sind zu viele Inkonsistenzen im System.

7. Ich kann mir vorstellen, dass die meisten Leute die Bedienung des Systems schnell erlernen würden.

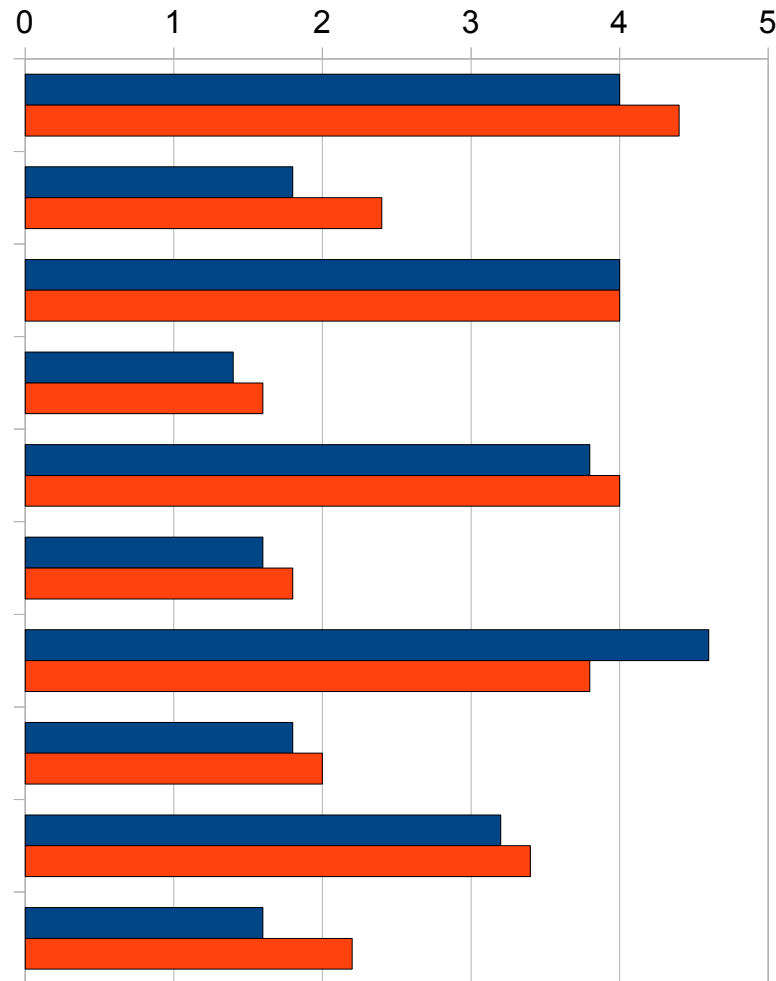
8. Ich empfand die Bedienung des Systems als mühsam.

9. Ich fühlte mich bei der Bedienung des Systems sehr sicher.

10. Ich musste viel lernen, bevor ich mit dem System umgehen konnte.

Classic Touch: 78,5

HapTouch: 74





Pilotstudie

Ergebnisse: Simple Usability Scale

1. Ich kann mir vorstellen, dass ich dieses System häufiger benutzen würde.

ZUFRIEDENHEIT

2. Ich fand dieses System unnötig komplex.

ERLERNBARKEIT

3. Ich denke, das System war einfach zu benutzen.

4. Ich glaube, dass ich die Hilfe eines Experten brauchen würde, um dieses System bedienen zu können.

5. Meiner Meinung nach sind die verschiedenen Funktionen dieses Systems gut eingebunden.

EFFEKTIVITÄT

6. Nach meinem Empfinden sind zu viele Inkonsistenzen im System.

7. Ich kann mir vorstellen, dass die meisten Leute die Bedienung des Systems schnell erlernen können.

ERLERNBARKEIT

8. Ich empfand die Bedienung des Systems als mühsam.

9. Ich fühlte mich bei der Bedienung des Systems sehr sicher.

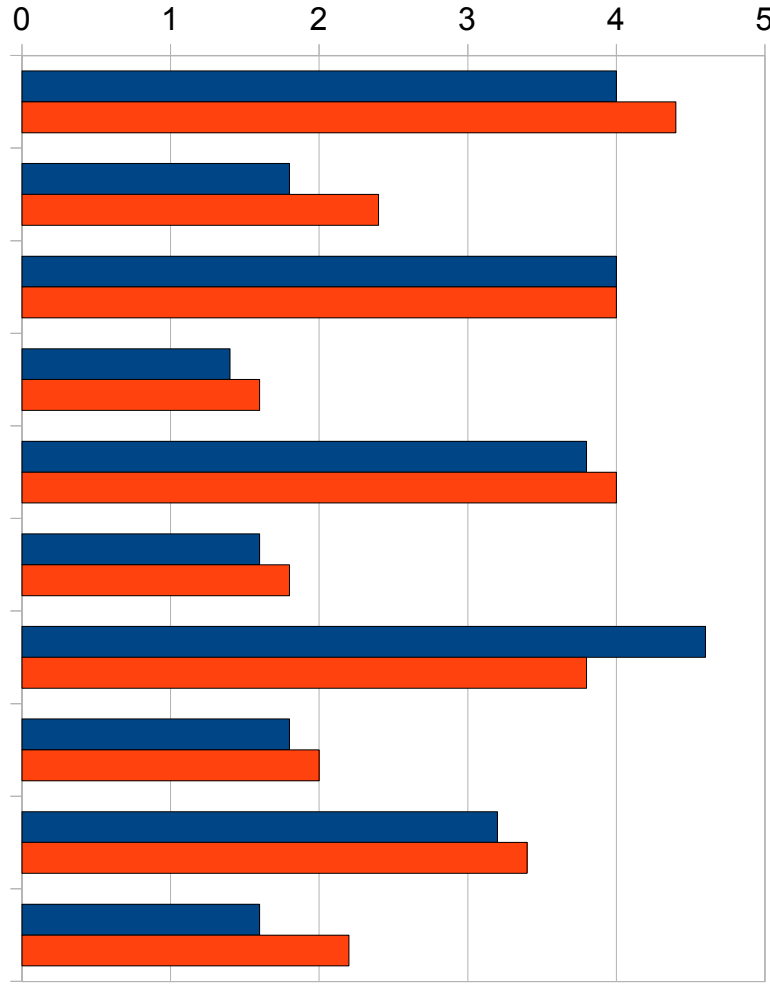
ZUFRIEDENHEIT

10. Ich musste viel lernen, bevor ich mit dem System umgehen konnte.

ERLERNBARKEIT

Classic Touch: 78,5

HapTouch: 74



Ausblick

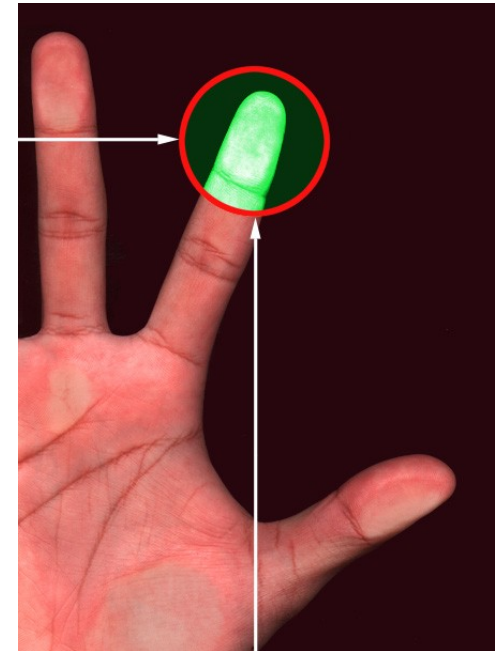
Fragestellungen

Wahrnehmungspsychologie:

- Signalspektrum der Haptikmuster
- abstrakte Informationen
- multimodale Korrelationen

Einsatz:

- technische Vermittlung
- Multitasking-Umgebungen
- Komplexität
- Kombination mit anderen Sinneswahrnehmungen



<http://www.acm.org/crossroads/xrds3-3/haptic.html>



Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

Ich bitte um Fragen.