

# Touchpad mit adaptiv haptisch veränderlicher Oberfläche zur Fahrzeuginfotainmentbedienung

## Roland Spies

Lehrstuhl für Ergonomie  
Technische Universität München  
Boltzmannstr. 15  
85747 Garching  
spies@lfe.mw.tum.de

## Alexander Peters

designaffairs GmbH  
Rosenheimer Str. 145b  
81671 München  
alexander.peters@designaffairs.de

## Claude Toussaint

designaffairs GmbH  
Rosenheimer Str. 145b  
81671 München  
claudio.toussaint@designaffairs.de

## Heiner Bubb

Lehrstuhl für Ergonomie  
Technische Universität München  
Boltzmannstr. 15  
85747 Garching  
bubb@lfe.mw.tum.de

## Abstract

Der folgende Beitrag beschreibt die Entwicklung eines Touchpads als zentrales Infotainmentbedienteil für Automotiv-Anwendungen im Rahmen einer gemeinsamen Entwicklungskooperation der TU München und der designaffairs GmbH im Auftrag der Audi AG. Die touchsensitive Oberfläche kann in Anlehnung an den aktuellen Bildschirminhalt situativ 1200 einzelne piezogesteuerte Pins individuell ausfahren. Somit lässt sich jede beliebige Menüoberfläche haptisch erfühlbar auf dem Touchpad abbilden.

Im Beitrag wird auf Basis der theoretischen Grundlagen und des Standes der Technik ein Konzeptentwurf vorgestellt. Die Umsetzung gliedert sich anschließend in die Entwicklung und Umsetzung des Technik- und des Usabilitykonzepts. Ein abschließender Probandentest im Fahrsimulator zeigt den Mehrwert haptisch konturierter Oberflächen im Vergleich zu einem konventionellen Touchpad im Bezug auf Fahr- und Bediendaten.

## Keywords

Touchpad, Haptik, Automotive, Dual Task, Fahrsimulatorstudie

## 1.0 Einleitung

Der Trend in modernen Automobilen zeigt ein stetiges Wachstum an Komfort- und Unterhaltungsfunktionen. Der damit verbundenen steigenden Anzahl an Bedienelementen begegnen Fahrzeughersteller mit zentral bedienbaren, menügeführten Infotainmentsystemen. Dies stellt Interface Entwickler vor die Herausforderung, ein geeignetes Bedienelement zur Menübedienung während der Fahrt zu finden. Derzeitige Lösungen auf dem Markt lassen sich in zwei Bereiche klassifizieren, solche mit Trennung von Anzeigeort und Bedienung und solche mit kombiniertem Anzeige- und Bedienort. Beide Ansätze weisen in Ihren derzeitigen Realisierungsformen noch erhebliche Nachteile hinsichtlich Usability auf. Hinzu kommt eine weitere Herausforderung durch komplexe zweidimensionale Aufgaben wie beispielsweise das Bedienen von DVD-Menüs oder Internetbrowsern.

Um diesen Anforderungen im automobilen Kontext gerecht zu werden, wird als neuer innovativer Ansatz im Folgenden ein Konzept für ein Touchpad mit einer situativ anpassbaren, haptischen Oberflächenstruktur entwickelt.

## 2.0 Hintergrund

Das folgende Kapitel beleuchtet zunächst aus ergonomischer Sicht die Aufgabe der Menübedienung im Fahrzeug. Des Weiteren werden derzeitige, auf dem Markt eingesetzte, Bedienkonzepte hinsichtlich deren Vor- und Nachteilen bewertet.

## 2.1 Analyse der Menübedienung

Die Menübedienung während der Fahrt stellt eine Doppelaufgabe dar, was zu Interferenzen und somit einer negativen Beeinflussung der eigentlichen Fahraufgabe führen kann. Ziel ist es daher, die Interaktion mit dem

Infotainmentmenü möglichst ablenkungsfrei zu gestalten.

Demnach ist es zweckmäßig, sich bei der Systemgestaltung an den menschlichen Eigenschaften zu orientieren. Der Informationsfluss durch den Menschen lässt sich in die Informationsaufnahme, Informationsverarbeitung und Informationsumsetzung einteilen (Bubb 1993).

Der bei Doppelaufgaben auftretende Engpass entsteht hier maßgeblich in der menschlichen Informationsverarbeitung. Hierzu existieren in der Fachliteratur verschiedene Theorien (Kahnemann 1973, Wickens 1984). Gemeinsam haben alle, dass vor allem bei der Verarbeitung von Informationen gleicher Modalität Interferenzen auftreten können. Das Modell nach Wickens postuliert ein Verbesserungspotenzial durch die Nutzung multiplexer Ressourcen.

Weiteres Potenzial zur Reduzierung des kognitiven Aufwands besteht durch eine

kompatible Gestaltung der Mensch–Maschine–Schnittstelle zwischen Anzeige und Bedienelement durch Berücksichtigung der primären äußeren und inneren Kompatibilität (Bubb 1993). Die Berücksichtigung der ergonomischen Vorgabe, die Freiheitsgrade eines Bedienelementes an die zur Aufgabebearbeitung nötigen Freiheitsgrade anzupassen, erleichtert eine solche kompatible Gestaltung.

Weitere Unterstützungspotenziale entstehen bei der menschlichen Informationsaufnahme und –umsetzung. Die Aufnahme von tertiären Informationen während der Fahrt führt zu Blickabwendungen von der Fahrbahn und birgt somit ebenfalls erhebliches Ablenkungspotenzial, da bei der Fahraufgabe die Informationen ebenfalls größtenteils visuell aufgenommen werden (Rockwell 1971). Hier kann die Übermittlung von Information über zusätzliche Modalitäten wie dem haptischen oder dem auditiven Kanal unterstützen. Dies belegen jüngste Forschungsergebnisse auf dem Gebiet multimodaler Infotainmentinteraktion (Vilimek 2007, Mischke & Hamberger 2007).

Bezüglich der Informationsumsetzung ist darauf zu achten, dass die nötige Interaktionsbewegung die primäre Fahraufgabe nicht beeinflusst.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass für eine kompatible Auslegung zwischen Bedienelement und Anzeige eine zweidimensionale freie Eingabefläche als Bedienelement benötigt wird, da dieses für alle Aufgaben die nötigen Freiheitsgrade zur Verfügung stellt. Die redundante Nutzung zusätzlicher Modalitäten zur Orientierung bei der Handlungsvorbereitung ist nützlich. Um eine angenehme, störungsfreie Interaktion gewährleisten zu können, sollte das Bedienelement im optimalen Greifraum angebracht sein.

## 2.2 Stand der Technik

Im Folgenden werden die beiden derzeit auf dem Markt vertretenen Bedienkonzeptalternativen unter den zuvor genannten ergonomischen Aspekten beleuchtet.

### 2.2.1 Trennung von Anzeige und Bedienung

Eine Trennung zwischen Anzeige und Bedienung wird größtenteils mit eindimensionalen Dreh-Drück-Stellerlösungen realisiert, welche sich nach Bedarf noch schieben lassen und teils durch Tasten zur Menüauswahl ergänzt werden. Die Menüs solcher Systeme sind größtenteils auf Listen aufgebaut. Probleme entstehen bei zweidimensionalen Aufgaben wie beispielsweise beim Verschieben einer Karte, bei der Navigation in Internetbrowsern oder bei der Auswahl von Points Of Interest in einer Karte. Vorteil dieser Systeme ist, dass das Bedienelement im optimalen Greifbereich des Fahrers in der Mittelkonsole angebracht werden kann. Der Bildschirm kann durch die Trennung von der Bedienung in großer Entfernung vom Fahrer positioniert werden, um Akkomodationsprobleme beim Wechsel des Fokus zwischen Straße und Display zu reduzieren.

### 2.2.2 Integration von Anzeige und Bedienung

Ein weiterer Ansatz ist die Verwendung von Touchscreens zur Infotainmentbedienung. Touchscreens bieten den Vorteil einer direkten und somit absolut kompatiblen Manipulation von Menüinhalten. Des Weiteren handelt es sich beim Touchscreen um ein zweidimensionales Eingabeelement, was die Bedienung solcher Aufgaben erheblich vereinfacht (siehe Abschnitt 2.1).

Die Nachteile von Touchscreens zur Infotainmentbedienung während der Fahrt liegen in der Informationsumsetzung. Zum Einen entsteht ein Zielkonflikt zwischen der Positionierung des Displays in möglichst großem Abstand zum Fahrer und einer guten Erreichbarkeit des Touchscreens. Zum Anderen führen der physische Aufwand und eine anhaltende Blickfokussierung beim zielgenauen Anvisieren einzelner Elemente im bewegten Fahrzeug zur Ablenkung von der Fahraufgabe.

## 3.0 Entwicklung haptisches Touchpad

In diesem Kapitel wird die Entwicklung eines Touchpads mit situativ anpassbarer haptischer Oberfläche, im Folgenden haptisches Touchpad genannt, als Neuansatz zur Infotainmentbedienung im Fahrzeug beschrieben.

### 3.1 Rahmenbedingungen

Die Idee bei der Entwicklung des haptischen Touchpads liegt in der taktischen Abbildung grafischer Displayinhalte. Bildelemente sollen auf dem Touchpad erfühlbar sein, sodass diese blind ertastet und durch Drücken manipuliert, bzw. ausgelöst werden können. Dies ermöglicht eine Bedienung auf einer freien, zweidimensionalen Eingabefläche analog zur Touchscreenbedienung und ermöglicht dennoch eine Trennung zwischen Anzeige und Bedienung. Auf dem Display dargestellte grafische Buttons werden als reale, drückbare Tasten erhaben auf dem Touchpad abgebildet (siehe Abbildung 4). Dies gewährleistet ein direktes Mapping zwischen Anzeige und Bedienung und erfüllt somit die Anforderung nach einer kompatiblen Gestaltung. Um eine große Flexibilität in der Bedienkonzeptgestaltung zu erhalten, soll die haptische Auflösung der Touchpadoberfläche möglichst hoch sein.



Abb 4: Haptisches Touchpad – Konzeptidee

Folgende Punkte werden als Rahmenbedingungen zusammengefasst:

- Zweidimensionale freie touchsensitive Eingabefläche
- Trennung Anzeige und Bedienung
- Haptisch erfühlbare Darstellung der Bildschirminhalte
- Situative Anpassung der Oberflächenstruktur
- Hohe haptische Auflösung
- Drückbare erhabene Elemente
- Bedienung des kompletten Funktionsumfangs

### 3.2 Technisches Konzept

Die technische Realisierung der Rahmenbedingungen besteht aus drei Technologien: *Braille* - zur situativen Abbildung haptisch erfählbarer Oberflächenstrukturen, *Infrarot* – zur Detektion der x,y – Fingerposition, *Force-Sensing Resistor (FSR)* – zur Druckdetektion.

Um eine situativ veränderliche, haptische Oberfläche realisieren zu können, wird die Brailletechnologie verwendet, welche für Blindendisplays entwickelt wurde. Dadurch lassen sich Touchflächen in beliebiger Größe durch Aneinanderreihung einzelner Module bauen.

Ein solches Modul besteht aus zehn Pins, im Abstand von 2,5 mm in einer 2x5 Matrix angeordnet. Jeder Pin kann mittels Piezoaktuatoren 0,8 mm aus der Oberfläche angehoben und wieder versenkt werden.

Für das Detektieren der Fingerposition auf der Braille-Oberfläche dient ein IR-Rahmen. Die Betätigungskraft auf das Touchpad wird durch vier FSR- Sensoren, auf denen das komplette Braille-Touchpad gelagert ist, detektiert. Den schematischen Aufbau zeigt Abbildung 5.

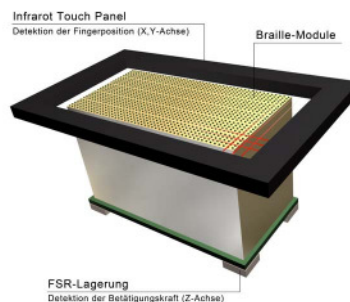


Abb 5: Technisches Konzept

### 3.3 Usability-Konzept

Die Forderung, den gesamten Funktionsumfang mit einem haptischen Touchpad zu bedienen, setzt zunächst einmal eine Definition aller in Frage kommenden Aufgabenvarianten voraus. Hierzu werden folgende Aufgabengrundtypen definiert:

- Auswahl Aufgabe (9 Optionen); z.B. Menüauswahl
- Auswahl Aufgabe (> 9 Optionen); z.B. Liste
- Verschieben /Einstellen (eindimensional); z.B. Bass
- Verschieben /Einstellen (zweidimensional); z.B. Fader/Balance

Des Weiteren existieren noch sogenannte freie Interaktionsaufgaben, welche eine flexible Eingabemaske benötigen und daher mit den bisheri-

gen Dreh- Drück-Steller Lösungen nur sehr umständlich oder gar nicht zu bedienen sind. So beispielsweise die Selektion von Points Of Interest in einer Karte oder das Bedienen eines Internetbrowsers.

Im Rahmen der Konzepterstellung werden zunächst geeignete Interaktionsvarianten für die jeweiligen Aufgabentypen ermittelt. Hierzu werden in Anlehnung an grafische Widgets taktile Pendants gesucht, welche im Weiteren als taktile Widgets (T-Widgets) bezeichnet werden. Es werden vier Gruppen festgelegt:

- Tasten (Buttons)
- Schieber (Slider)
- Drehrad (Wheels)
- X,Y Flächen

Für die ersten drei T-Widgetgruppen wird ein Lösungsraum verschiedener Varianten generiert. Hier liegt die Überlegung zu Grunde, dass durch Formgebung die einzelnen T-Widgets zusätzlich Information übermitteln können, welche somit die haptische Orientierung vereinfacht. Tasten können beispielsweise rechteckige oder auch komplexere Strukturen wie z.B. dreieckige Formen aufweisen.

Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal der T-Widgets ist, dass die erfählbaren Elemente entweder als Vollfläche (erhaben) oder nur als Kontur (invers) dargestellt werden können. Insgesamt wurde mittels Ideen aus Marktrecherche und Brainstorming der in Abbildung 6 dargestellte Lösungsraum für die jeweiligen T-Widgetgruppen generiert. Dieser Lösungsraum wird anschließend mit einer Punktebewertung auf einer fünfstufigen Skala auf sinnvolle Varianten reduziert. Die vier Bewertungskriterien lauten:

- Technische Machbarkeit
- Kompatibilität
- Gefallen und Akzeptanz
- Mehrwert und Potenzial

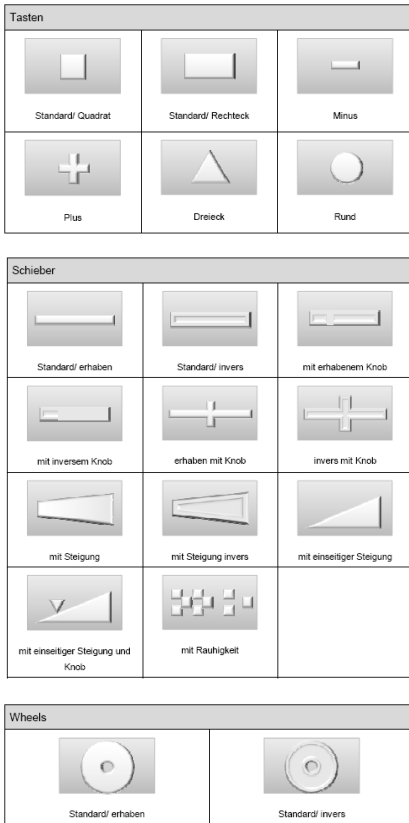


Abb 6: Lösungsraum für Tasten-, Schieber und Wheelvarianten

Das durch die Pinmodule zur Verfügung stehende Raster von 2,5x2,5 mm liefern die Randbedingungen für das Kriterium *Technische Machbarkeit*.

Das Bewertungskriterium *Kompatibilität* sagt aus, in wie weit die jeweiligen T-Widgets dem Nutzer bereits von Marktlösungen bekannt sind.

Das Kriterium *Gefallen und Akzeptanz* fließt durch den berechneten Mittelwert aus den Bewertungen einer Expertenbefragung ein. Hierbei mussten zwölf Experten aus den Bereichen Interface-design und Ergonomie die jeweiligen Varianten anhand von Polyesterolmustern bezüglich Gefallen und Akzeptanz bewerten. Die Bewertung fand zum einen durch Ertasten und zum Anderen durch Begutachtung statt. Außerdem wurden

die Probanden bei jedem T-Widget Typ zu Größen und Abständen und nach einem möglichen Anwendungsfall befragt.

*Potenzial und Mehrwert* geht positiv in die Bewertung mit ein, wenn durch ein T-Widget neue Möglichkeiten, wie beispielsweise das Übermitteln von Informationen durch Formkodierung, entstehen.

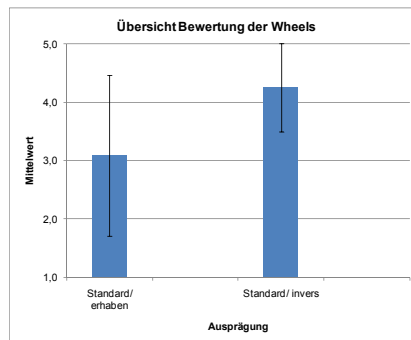
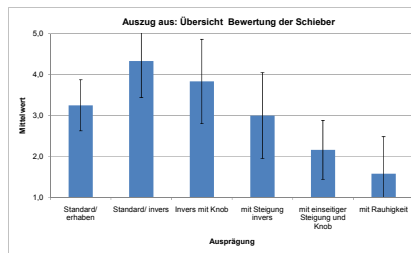
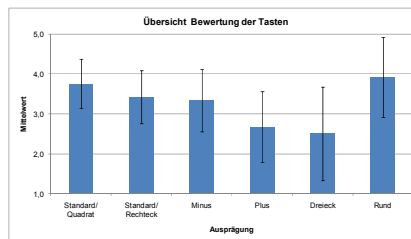


Abb 7: Ergebnisse Expertenbewertung Tasten, Schieber (Auszug) und Wheel (5= sehr gut; 1= sehr schlecht)

Auszüge der Ergebnisse der Expertenbefragung sind Abbildung 7 zu entnehmen. Insgesamt können die Resultate wie folgt zusammengefasst werden:

- Schieber und Wheels in inversen Bahnen mit haptischer Umran-

nung sind besser als erhabene Bahnen

- Komplexe Formgebungen für Tasten und Schieber werden nicht erkannt
- Einfache Standardformen werden bevorzugt

Die Ergebnisse liefern die Grundlage für die Erstellung eines Baukastens an T-Widgets, der es erlaubt, Interface-Masken für ein Bedienkonzept eines haptischen Touchpads zu erstellen. Die Resultate aus den Größenbewertungen werden mit ergonomischen Empfehlungen (z.B. hinsichtlich numerischer Eingabetastaturen) verglichen und Größenordnungen festgelegt.

### 3.4 Ergebnis

Die Erkenntnisse aus der Expertenbefragung über Mindestgrößen taktiler Elemente und technische Randbedingungen der eingesetzten Technik führen zur Entscheidung die Größe des Touchpads auf 20x5 Module festzulegen. Damit können 1200 Pins auf einer Touchfläche von 10x7,5 cm einzeln gesteuert werden.

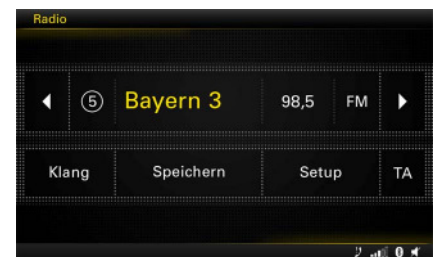


Abb 8: Unten – Prototyp haptisches Touchpad; oben: Beispielscreen

Das grafische Design der Menüsimulation orientiert sich an der Struktur der haptischen Oberfläche. Dadurch

wird das Mapping zwischen Anzeige und Bedienung verdeutlicht. Der Prototyp und ein dazugehöriger Beispielscreen werden in Abbildung 8 gezeigt.

In einer weiteren Entwicklungsstufe wird ein zweiter Prototyp aufgebaut mit dem Ziel, in ein Realfahrzeug verbaut zu werden. Dieser ist in Design- und baumrelevanter Punkten weiter optimiert.

#### 4.0 Probandentest

Nachfolgend sollen kurz erste Trendergebnisse aus einer Voruntersuchung zu einem umfassenden Probandentest im statischen Fahrsimulator gegeben werden, um einen ersten Eindruck über das Potenzial einer haptischen Fühlhilfe zur Orientierung zu bekommen.

#### 4.1 Versuchsdesign

Der Test wurde mit 32 Probanden in einem statischen Fahrsimulator durchgeführt. Als Fahraufgabe diente eine Folgefahrt mit konstantem Abstand auf einer Überlandstrecke. Als Nebenaufgabe mussten die Probanden in einer Menüsimulation eine Zieleingabe mittels einer Navigationskarte durchführen und die Helligkeit der Karte verändern. Die Aufgabe enthielt fünf Bedienabschnitte auf mehreren Screens mit unterschiedlicher Anordnung der bedienbaren Elemente. Der Versuch wurde somit in einem 2x1 Within Subject Design mit Messwiederholung durchgeführt. Die dabei variierenden Faktoren waren *haptisches Touchpad* sowie *Touchpad ohne Haptik*.

Als abhängige Variablen wurden Kennwerte für die Bedieneffizienz, die Fahrperformance und das subjektive Empfinden aufgenommen.

#### 4.2 Ergebnis

Abbildung 9 visualisiert die signifikante Verbesserung der Bedieneffizienz und der Fahrperformance während der Bearbeitung.

Die Ergebnisse belegen die theoretische Annahme eines Mehrwerts durch haptisch konturierte Oberflächen für eine Touchpadbedienung in einer Dualtasksituation.

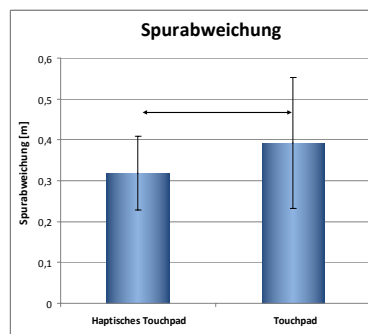
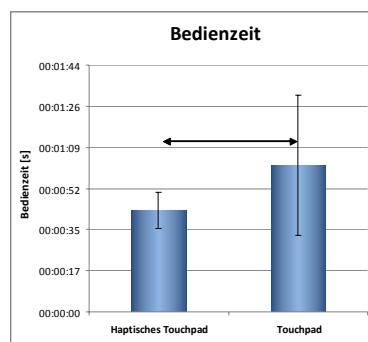


Abb 9: Bedienzeiten und Varianzen der Spurabweichung

#### 5.0 Zusammenfassung und Ausblick

Auf Basis einer systematischen Herleitung des Handlungsbedarfes wurde eine Bedienalternative zur herkömmlichen Infotainmentbedienungen gefunden und umgesetzt. Für herkömmliche Aufgabentypen einer Infotainmentbedienung wurde ein T-Widgetbaukasten sinnvoller Inter-

aktionsvarianten erstellt und in einer Menüsimulation zusammen mit weiteren freien Interaktionsaufgaben wie beispielsweise die Suche von Points Of Interest in einer Karte oder Drag'n'Drop - Anwendungen dargestellt. Erste Simulatorergebnisse verdeutlichen das Potenzial einer Fühlhilfe für eine Menübedienung im Fahrzeug mittels Touchpad.

Als nächster sinnvoller Schritt ist eine Vergleichsuntersuchung mit herkömmlichen Bedienalternativen anzustreben, um das tatsächliche Verbesserungspotenzial einer solchen Bedienalternative aufzeigen zu können.

#### 6.0 Literaturverzeichnis

- Bubb, H. (1993): Informationswandel durch das System. In: Schmidtke, H. (Hrsg.): Ergonomie. 3. Auflage. München u.a.: Carl Hanser
- Kahnemann, D. (1973): Attention and Effort. New Jersey
- Mischke, M.; Hamberger, W. (2007): Multimodalität im Dualtask – eine Lösung für die Probleme der Sprachbedienung. In: Prospektive Gestaltung von Mensch – Technik – Interaktion, vol.7. Berliner Werkstatt Mensch – Maschine – Systeme, Berlin
- Rockwell, T.H. (1971): Eye Movement analyses of visual information acquisition in driving: an overview. Paper presented at the North Carolina State University, Raleigh
- Vilimek, R. (2007): Gestaltungsaspekte multimodaler Interaktion im Fahrzeug – Ein Beitrag aus ingenieurspsychologischer Perspektive. Dissertation, Universität Regensburg
- Wickens, C.D. (1984): Engineering Psychology and Human Performance. Columbus, Merrill