

4 Haptische Bedienschnittstellen

Jörg Reisinger, Jörg Wild

Die Bedienung des Kraftfahrzeugs hat sich in den vergangenen 20 Jahren enorm gewandelt. Neben den primären und sekundären Fahraufgaben ist eine Vielzahl weiterer Aufgaben (tertiäre Fahraufgaben) hinzugekommen, die vom Fahrer oftmals nur nebenbei erledigt werden. Weiterhin hat die Verkehrsdichte stark zugenommen und die Reisegeschwindigkeit hat sich wesentlich erhöht.

In diesem Umfeld reicht die schlichte Funktionalität bei der Bedienung nicht mehr aus sondern Bedienkonzepte und Mensch-Maschine-Schnittstellen müssen optimal an die menschliche Tätigkeit angepasst sein. Der Wunsch des Bedieners, eine Funktion auszulösen, sollte eine möglichst geringe Ablenkung hervorrufen und zugleich höchste Gewissheit darüber liefern, dass die Maschine diesen Wunsch erfasst hat und ihn ausführen wird. In diesem Zusammenhang spricht man von Bediensicherheit und Bedienklarheit.

Alternative Eingabemöglichkeiten wie Spracheingabe oder Gestensteuerung sind zum Teil in aktuellen Fahrzeugen implementiert. Die Umsetzung ist jedoch exemplarisch für den Stand dieser Techniken. So muss z. B. zur Aktivierung der Sprachsteuerung aktueller Modelle zuerst eine herkömmliche Taste betätigt werden, ehe man mit der Eingabe beginnen kann. Das System ist demzufolge noch nicht in der Lage, Befehle von Gespräch oder Störgeräuschen zu unterscheiden, was zu Fehlbedienungen führen könnte. Solange zudem der eingeschränkte Befehlssatz bei der Spracherkennung viel Zeit zur Einarbeitung benötigt, erschwert dies die Bedienung maßgeblich. Hintergrund ist der hohe Aufwand, den der Benutzer zur Formulierung der korrekten Befehle hat. Durch die individuelle persönliche Erlebens- und Erfahrungswelt bekommt zudem jeder Befehl eine eigene spezifische Sinnhaftigkeit [Wat03], weshalb jeder Benutzer die Befehle intuitiv unterschiedlich formulieren möchte.

Die Sprachsteuerung wird derzeit als alternative Bedienmöglichkeit angeboten, was dem generell positiven Grundsatz der Individualisierbarkeit [VDM04] entspricht, indem es dem Benutzer die freie Wahl der Bedienung lässt. In absehbarer Zeit ist es jedoch unter anderem auch deshalb unwahrscheinlich, dass alternative Eingabesysteme die klassische Bedienung mittels Schaltern, Tasten und Drehstellern verdrängen werden.

Entwicklungen im Kraftfahrzeugbereich gehen vielmehr hin zu zentralen Bedienelementen, wie dem BMW „iDrive“, dem Audi „MMI“ oder dem Mercedes „COMAND“. Hier ist die Vielzahl der Bedienelemente auf eines oder wenige, durch den Einsatz von Menüführungen, reduziert. Neben den zentralen Bedienelementen in Form von Dreh-Drück-Stellern finden hier Drucktasten, Joystick-Funktionen und Touchscreens Verwendung. Abbildung 4.1 zeigt zwei aktuelle zentrale Bediensysteme.

Es kann weiterhin eine Zunahme von Funktionen und damit eine steigende Anzahl von Tastern, Schaltern und Drehstellern im Kfz erwartet werden. Die Übertragung immer komplexer werdender Funktionen auf diese erfordert eine optimale Auslegung ihrer haptischen Merkmale. Nicht nur zur besseren Anmutung, sondern auch zur sicheren Bedienung.



Abbildung 4.1 Moderne zentrale Bedienelemente: links das MMI im Audi A6, rechts das COMAND-System der Mercedes S-Klasse

4.1 Einführung

4.1.1 Grundlagen zur Haptik

Zum Verständnis der haptischen Wahrnehmung beim Menschen sind die Physiologie und die Psychologie der Wahrnehmung unabkömmlich aber auch die Kenntnis verschiedener Terminologien des Begriffes *Haptik* beugt Missverständnissen und Fehlern vor.

Der Begriff Haptik

Das Wort *Haptik* entstammt dem Altgriechischen „haptain“, was für „erfassen, berühren“ steht. Der Begriff „Haptik“ steht für die „Lehre vom Tastsinn“ und beinhaltet, vergleichbar mit den Begriffen „Optik“ und „Akustik“, die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit Themen rund um Berührung, Greifen und Fassen.

Physiologische Grundlagen

Der haptische Wahrnehmungsapparat ist im gesamten menschlichen Körper verteilt und stellt das größte Wahrnehmungsorgan des Menschen dar.

Aufgrund der vielfältigen haptischen Wahrnehmungsmoden werden die verschiedenen Organe in drei Gruppen unterteilt: die *Mechanosensoren*, die *Propriozeptoren* und die *Vestibularorgane*. Zur Gruppe der Mechanosensoren werden alle Organe gezählt, die Oberflächenkontakte wie Kräfte oder Verformung des Körpers registrieren. Sie liegen in den Hautschichten und liefern verschiedene Aspekte körperlichen Kontaktes. Man spricht hierbei oftmals von Taktilität und Oberflächenwahrnehmung.

Eine weitere Gruppe haptischer Wahrnehmungsorgane liefert Informationen zur Tiefensensibilität (Propriozeption), die so genannten Propriozeptoren. Hierzu gehören Informationen über Gelenkstellungen, Muskelkräfte, allgemein gesagt die Stellung des Körpers im Raum und dessen Gliedmaßen zueinander.

Zur dritten Gruppe, der Kinästhetik, zählen die Vestibular- und Maculaorgane, die auch als Gleichgewichtsorgane bekannt sind.

Vor allem im angelsächsischen Raum wird die Propriozeption zur *Kinästhetik* hinzugerechnet. Die Kinästhetik („Bewegungswahrnehmung“) lässt sich subjektiv jedoch klar von der Propriozeption unterscheiden [Bub01]. Beschleunigungskräfte, die auf den gesamten Körper wirken, lassen sich klar von Skelettkräften, welche durch Belastung einzelner Körperteile entstehen, differenzieren.

Für die Untersuchung der Haptik von Bedienelementen reicht es jedoch aus, sich auf Oberflächen- und Tiefenwahrnehmung zu konzentrieren.

Tiefensensibilität (Propriozeption)

Die Gruppe der Propriozeptoren (Abbildung 4.2) liefert Informationen über Gelenkstellungen, Muskel- und Skelettkräfte. Die besten Kenntnisse existieren für die Muskelrezeptoren.

Die Golgie-Sehnenorgane, die in den Sehnen der Muskeln sitzen und die über deren Dehnung eine Rückmeldung über die Muskelkraft, auch Muskelspannung genannt, geben [DSH04].

Die Muskelspindeln sitzen im Muskel und registrieren die Ausdehnung des Muskels als Maß für die Länge. Im Besonderen verfügen die Muskelspindeln über einen Mechanismus (γ -Motoneuronen), der durch Verlängerung oder Verkürzung der Spindeln deren Auflösung verändern kann. Muskelspindeln haben [ST95, TMV99] sowohl eine statische als auch dynamische Empfindlichkeit.

Weiterhin existieren in der Gelenkhaut Sensoren, die Informationen über die Gelenkstellung liefern. Sie sind jedoch nach Aussage von [ST95] von untergeordneter Wichtigkeit.

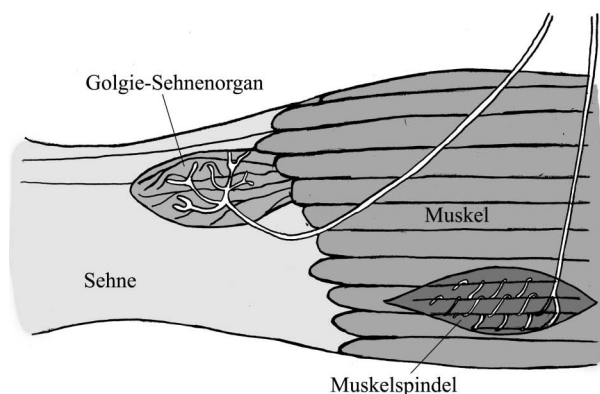


Abbildung 4.2 Propriozeptoren: Das Golgie-Sehnenorgan liefert Information über die Muskelkräfte. Muskelspindeln liefern Informationen über die Ausdehnung des Muskels. Generell bestehen jedoch Wechselwirkungen. Bild nach [DSH04 S. 239]

Für die Haptik der Bedienelemente stellen die Organe der Propriozeption wichtige Informationen über Hübe zur Verfügung.

Oberflächensensibilität (Taktilität)

Die Gruppe der Mechanosensoren stellt die Informationen von Kräften über der Zeit dar. Mit anderen Worten liefern sie reine Berührungsinformationen, sei dies durch passive Berührung, d. h. etwas wird über die Haut bewegt, oder durch aktive Exploration, d. h. der Proband ertastet

selbst aktiv. Letzterer Fall ergibt in Zusammenspiel mit der Tiefensensibilität einen erweiterten Eindruck über Körper und Gegenstände.

In der für Bedienelemente vor allem relevanten unbehaarten Haut existieren vier verschiedene Typen von Mechanosensoren. Dies sind die Merkel-, Ruffini-, Meissnerzellen und Pacini-Korpuskel [ST95]. Abbildung 4.3 zeigt die Anordnung der Mechanosensoren in der Haut sowie die einzelnen Zellen.

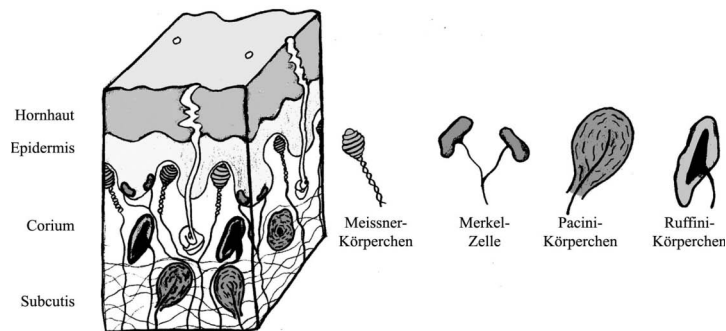


Abbildung 4.3 Anordnung der Mechanosensoren in der unbehaarten Haut und die einzelnen Sensoren (nach [ST95 S. 218])

Merkel- (SA I) und Ruffini-Zellen (SA II) liefern ein der Kraft bzw. der daraus resultierenden Verformung proportionales Pulsfeuer, während die Meissnerzellen (RA) nur auf die Änderung, nicht aber auf eine konstante Kraft reagieren, also differentiales Verhalten zeigen. Die Pacini-Zellen (PC) zeigen darüber hinaus doppelt-differentielles Verhalten, indem sie konstante Kraftänderungen, das entspricht der 1. Ableitung der Kraft nach der Zeit, nicht anzeigen, sondern nur die 2. Ableitung der Kraft nach der Zeit [ST95].

Weitere Sensoren der Haut

Neben den Mechanosensoren, welche die Aspekte der Berührung sensieren, gibt es so genannte Thermosensoren zur Temperaturwahrnehmung und Schmerzsensoren.

Die *Temperaturwahrnehmung* wird über Warm- und Kaltsensoren realisiert. Hierbei spielen Größe der Reizfläche, der Temperatursprung und die Änderungsgeschwindigkeit neben der absoluten Temperatur eine gewichtige Rolle [TMV99]. Ausgehend von einem mittleren Temperaturbereich von 31 bis 36 °C, der eine neutrale Empfindung hervorruft, wird darüber bis ca. 45 °C eine zunehmend intensivere Wärmewahrnehmung hervorgerufen, die darüber in eine schmerzhaftes Hitzeempfindung übergeht. Unter dem neutralen Bereich wird es bis 17 °C zunehmend als „kalt“ und darunter als Kälteschmerz empfunden. Hohe Temperaturen können zudem einen Kaltreiz auslösen.

Haptisch relevant ist die Temperaturwahrnehmung im Bereich der Oberflächenhaptik, da sie Informationen über Materialeigenschaften beiträgt [DMH06].

Die *Schmerzempfindung* wird über so genannte Nozizeptoren registriert. Sie können durch Einwirkung verschiedener Reize mechanisch, thermisch oder chemisch angeregt werden und haben die Aufgabe, den Organismus vor Schädigung, z. B. durch Fluchtreflexe, zu schützen. Eine

Durchmusterung der Haut zeigt etwa neunmal so viele Schmerzrezeptoren wie Druck- oder Thermorezeptoren.

Verteilung der Sensorpunkte auf der Haut

Die Haut ist für die Wahrnehmung der verschiedenen Reize nicht überall gleich empfindlich. Je nach Hautbereich findet sich eine höhere oder niedrigere Dichte der verschiedenen Rezeptoren. Besonders hohe Dichten findet man im Mund, speziell in der Zunge, in der Hand und in den Geschlechtsorganen.

Abbildung 4.4 zeigt die Verteilung der Mechanosensoren auf der Hand. Die gefärbten Bereiche stehen für die jeweiligen rezeptiven Felder. Merkel-Zellen und Meissner-Körperchen sind oberflächlich angeordnet und besitzen kleine rezeptive Felder, während Ruffini- und Pacini-Körperchen tiefer im Gewebe liegen und große rezeptive Felder (die hellen Bereiche) mit Punkten maximaler Empfindlichkeit (kräftige Bereiche) besitzen.

Haptisch zeigt dies Auswirkungen darin, dass bestimmte Handareale (im Selbstversuch einfach nachprüfbar) besondere Empfindlichkeiten aufweisen. Am eindeutigsten ist dies am Beispiel der Pacini-Körperchen zu testen: Im Bereich des Handballen ist man besonders „kitzelig“. Auch feine Erhebungen am Stoß zweier Bauteile werden mit dem Handballen geprüft, da hier eine besondere Sensitivität dafür besteht.



Abbildung 4.4 Verteilung der Mechanosensoren auf der Hand nach [DSH04 S. 65]

Psychologische Grundlagen

Die Wahrnehmung des Menschen durchläuft etliche Stufen, die von der Struktur her durchaus mit technischen Systemen verglichen werden kann.

Nach der eigentlichen Sensierung eines physikalischen Reizes mittels Sensororgan wird über die afferenten Nervenbahnen der Impuls zum Zentralen Nervensystem (ZNS) geleitet. Dort findet eine Vorverarbeitung der Information statt. Es werden Daten gewichtet, gefiltert und aufbereitet. Schließlich gelangt die vorbereitete Information in den Bereich der objektiven Wahrnehmung. Dort wird sie zusammen mit Erfahrungen und Prägungen ins subjektive Bewusstsein gebracht, das dem Individuum dann als Sinneswahrnehmung „bewusst“ wird [ST95]. Zur Verarbeitung der Informationen siehe Abschnitt 8.2.

Haptische Gliederungen

Die Haptik wird aus verschiedensten Hintergründen heraus auf verschiedene Art und Weisen gegliedert. Diese Vielzahl an Gliederungen birgt jedoch die Gefahr von Missverständnissen bei der Verwendung von Begriffen in unterschiedlichem Umfeld.

Informationspsychologische Sicht

Die *informationspsychologische Definition* von „haptisch“ und „taktil“ unterscheidet zwischen *haptisch*, als aktive Berührung bzw. aktiver Exploration durch gezielte Körperbewegung, und *taktil*, als passive Berührung bzw. ohne eine aktive Bewegung des Körpers.

Wichtig für den Psychologen ist in diesem Falle, ob der Proband aktiv einen Vorgang steuert oder ob er nur passiv eine Kraftwirkung wahrnimmt. Da Bedienelemente prinzipiell mit dem Hintergedanken der Auslösung einer Funktion betätigt werden, ist diese Terminologie hierfür ungeeignet.

Funktionale Gruppen/ Physiologische Gliederung

Eine Zuordnung bezüglich des *Informationsgehalts funktionaler Gruppen* stellt eine weitere Gliederung dar. In diesem Sinne steht Haptik als Überbegriff der Berührungswahrnehmung und beinhaltet sowohl die Tiefenwahrnehmung, die Oberflächenwahrnehmung und die Kinästhetik. Auf diese Unterteilung wurde bereits in Abschnitt Physiologische Grundlagen weiter oben näher eingegangen. Für Bedienelemente ist diese Gliederung insbesondere deshalb sinnvoll, da sich die Wahrnehmungsgruppen relativ einfach physikalischen Größen, die direkt beeinflusst werden können, zuordnen lassen, wie z. B. der Tastenhub zur Propriozeption.

Arbeitsgebiete

Speziell für die Bearbeitung des Themas Bedienelemente ist es notwendig, *Arbeitsgebiete* zu unterscheiden, da hier verschiedene wissenschaftliche Disziplinen zum Einsatz kommen.

In diesem Sinne bezeichnet die *Oberflächenhaptik* die Auseinandersetzung mit Oberflächen und deren Materialien. Dieser Bereich ist klar von der so genannten *Bedien- oder Betätigungshaptik* zu unterscheiden, die sich nur wenig mit Materialwissenschaften auseinandersetzt, sondern die Rückwirkung eines Mechanismus (Force-Feedback) auf die menschliche Wahrnehmung beschreibt.

Im Fokus dieses Kapitels steht die Betätigungshaptik.

Technische Aspekte

Für den Entwurf von Bedienelementen lassen sich [RWMB07] notwendige technische Aspekte ableiten. Die wesentliche Rolle spielt die *Rastkurve*. In ihr wird die Rastung in Form eines Kraft-Weg-Verlaufes bei translatorischen Bedienelementen bzw. eines Drehmoment-Drehwinkel-Verlaufes bei rotatorischen Bedienelementen definiert.

Ihr überlagert sich ein „konstanter coulombscher Reibungsanteil“. Der als Offset bei Messungen sichtbare Reibkraftanteil hat bei Bedienelementen seine Ursache in der Führung beweglicher Teile.

Eine weitere Einflussgröße ist die „Massenträgheit“. Gerade bei durch Hand- oder Fingerzugriff betätigten Bedienelementen wie Hebel oder Drehsteller wirkt sich dieser Kraftanteil relevant auf das Betätigungsgefühl aus.

Zwei weitere Größen sind besonders von Material und fertigungstechnischen Parametern abhängig: die *dynamische Reibung* oder auch „Mikrostruktur“ sowie „thermische Eigenschaften“. Wall und Harwin [WH99] zeigen anhand verschiedener Arbeiten und eigener Untersuchungen auf, dass Oberflächeneigenschaften mittels aus Fourierreihen erzeugten Vibrationen simuliert werden können. Die Vibrationen entstehen bei realen Systemen durch das *Stick-Slip-Verhalten* der entsprechenden Reibpaarungen. Dabei wirken sich sowohl die Paarung „Haut“ – „Oberfläche“ als auch die Reibpaarungen mechanischer Führungen aus. Thermische Leitfähigkeit und Wärmekapazität des Werkstoffes vermitteln zudem Informationen über die materielle Beschaffenheit einer Kappe [DMH06].

Die Rastkurve stellt die zentrale Größe dar, da sie primär darüber entscheidet „wie sich die Rastung anfühlt“. Die Darstellung bei rotatorischen Bedienelementen als Drehmoment-Drehwinkel-Kennlinie bringt bezüglich intuitiver Lesbarkeit der haptischen Eigenschaften gravierende Mängel mit sich, die in [RWMB05] diskutiert werden. Ein Ansatz für eine intuitiv lesbare Darstellung, die so genannte „Integral- oder Energiekennlinie“, wird vorgestellt und in [RWMB06] anhand von Versuchen bestätigt. In [RWMB07] folgen eine Qualifizierung und Quantifizierung haptischer Parameter der Rastkurve für rotatorische Bedienelemente.

Diese Gliederung der Haptik ermöglicht die Diskussion auf Basis technischer Gegebenheiten und kann direkt in das konstruktive Design einfließen.

4.1.2 Betätigungshaptik

Es stellt sich die Frage, an welchen Stellen die oben genannte Betätigungshaptik speziell im Kraftfahrzeug Anwendung findet. Die Steuerung des Fahrzeuges erfolgt typischerweise mit Armen, Händen und Beinen über Betätigung verschiedener Mechanismen.

Man unterscheidet, wie in Abschnitt 8.1 weiter ausgeführt ist, in der Art der Bedienungsaufgabe zwischen primären, sekundären und tertiären Aufgaben. Zu den primären Aufgaben zählt die Fahrzeugstabilisierung mit Längs- und Querführung des Fahrzeuges, die in der Regel mittels Gaspedal, Bremspedal, Kupplung, Schalthebel und Lenkrad erfüllt wird.

Sekundäre Aufgaben befassen sich mit der Zielführung des Fahrzeuges, also die Navigation und die Überwachung des Straßenverkehrs, während tertiäre Aufgaben sich auf Komfort-Aufgaben wie Klimatisierung, Unterhaltung, Kommunikation, Information u. Ä. konzentrieren. Für diese Aufgabe finden primär Tasten, Schalter und Drehsteller Anwendung [Bub01]. Primäre Bedienelemente arbeiten auf einem vergleichsweise hohen Kraftniveau, was historisch gesehen auf der lange Zeit rein mechanischen Betätigung der zur Fahrzeugführung notwendigen Steller beruht [Bub01].

Im Folgenden konzentrieren sich die Ausführungen auf die Bedienelemente der niedrigen Kraftbereiche der sekundären und der tertiären Bedienungsaufgaben. Dies sind vor allem Finger-Hand-betätigte Bedienelemente. Arm- und Fußbetätigung werden nicht berücksichtigt.

4.2 Analyse existierender Bedienelemente

Bedienelemente, wie Taster und Schalter, existieren seit der Einführung des elektrischen Stromes, waren sie doch lange Zeit die einzige Möglichkeit, elektrische Stromkreise zu öffnen und

zu schließen, ehe Relais, Röhren und Transistoren aufkamen. Letztendlich sind sie bis heute die zentralen Mensch-Maschine-Schnittstellen.

Aus dem heutigen Alltag sind Bedienelemente nicht mehr wegzudenken. So hat zunächst die Elektrifizierung einfache Schalter mit sich gebracht. Mit Einführung der Digitaltechnik nahmen vor allem im Kraftfahrzeug die Funktionsvielfalt und die damit verbundene Benutzerschnittstellen stark zu.

Generell haben mechanische Schieber und Drehsteller, wie sie bei Schlössern, Uhren und anderen feinmechanischen Geräten eingesetzt worden sind, als Vorbilder gedient. Als Beispiel können die Tasten der mechanischen Schreibmaschine dienen, die heute durch die elektromechanische Tasten der Computertastatur ersetzt sind.

4.2.1 Bedienelemente im Markt

Ein Blick auf den Markt zeigt eine Vielzahl an Varianten. Im folgenden Abschnitt werden die verschiedenen Prinzipien und Umsetzungen anhand von Beispielen erläutert.

Drucktaster und -schalter

Wir finden heute neben Drucktastern, die nur tastend betätigt werden, zudem Rastschalter, die einrasten und den Kontakt bis zur nochmaligen Betätigung geschlossen halten. Sonderformen können z. B. bei Stromlos-Schaltung des Bedienelementes von selbst wieder in den Ausgangszustand zurückspringen.

Drehsteller

Drehsteller findet man meist in Form von Drehschaltern. Drehtaster werden eher selten angetroffen (Abbildung 4.5).

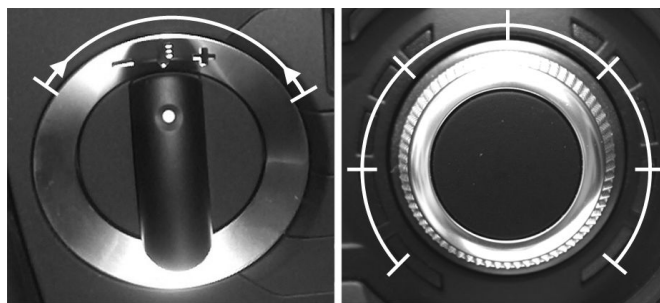


Abbildung 4.5 Im Bild links der Drehtaster im Audi A3 und rechts der Drehschalter im Audi A8 zur Temperatureinstellung

Die Art der Kappen werden in nahezu beliebiger Form, Größe und Material, sowohl rund (Abbildung 4.6) als auch in Form eines Knebelschalters, wie etwa Lichtschalter (Abbildung 4.7), ausgeführt. Der Durchmesser erstreckt sich von 7 mm bis über 50 mm.



Abbildung 4.6 Links: Kegelförmige Kappe aus Kunststoff beim BMW iDrive im 5er; rechts: zylindrischer Grundkörper aus Aluminium beim Audi MMI des A8

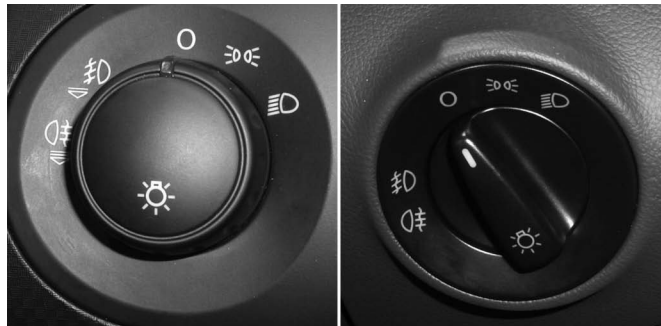


Abbildung 4.7 Links ein runder Lichtschalter im Seat Toledo und rechts ein Knebelschalter im Seat Alhambra

Tastwippe und Hebel

Eine Zwischenstufe von Drucktastern und Drehstellern stellen Tastwippen mit zwei Druckpunkten wie in Abbildung 4.8 (links), Tastwippen auf Zug und Druck wie in Abbildung 4.8 (rechts) und Lenkstockhebel (Abbildung 4.9) dar. Diese führen augenscheinlich zwar eine translatorische Bewegung aus, sind jedoch um eine Drehachse gelagert.

Vorteilhaft hierbei ist die einfache aber dennoch präzise Lagerung. Nachteilig wirkt sich dagegen die veränderliche, mit dem Abstand zur Drehachse geringer werdende, Betätigungskraft aus, wie sie bei einer tippenden translatorischen Bewegung mit der Fingerspitze erfolgt.

Lenkstockhebel (Abbildung 4.9) sind diesbezüglich unkritisch, da durch das Lenkrad der gewünschte Betätigungsabstand vorgegeben ist, und die Längenänderung des Hebelarmes geringer ausfällt. Tastwippen hingegen werden in der Regel blind ertastet und bieten als Orientierung lediglich die Fläche des Tasters. Um eine bessere Orientierung zu bieten, werden teilweise haptische Kodierungen z. B. in Form eines Querelementes im gewünschten Betätigungsbereich angebracht (Abbildung 4.10).

Fensterheber-Bedienelemente werden vermehrt als Tastwippen mit Zug-Druck-Funktion realisiert (Abbildung 4.10 rechts). Diese Variante kann bei entsprechender Ausführung die Nachteile der Schaltwippe minimieren, da der Betätigungspunkt die Kante der Kappe darstellt, und diese unweigerlich gegriffen wird. Zudem folgt der Finger bei Zugbetätigung der Kreisbahn auf natürliche Weise besser als einer translatorischen Bewegung. Letztendlich bietet sie noch den

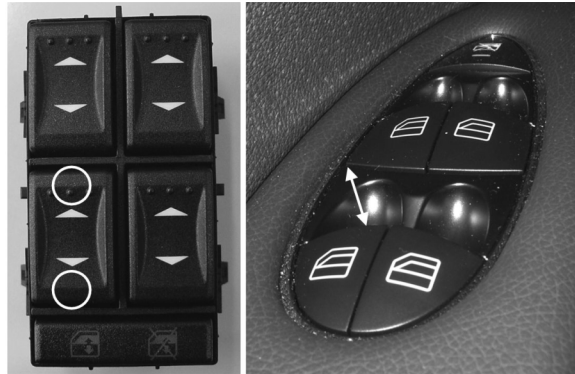


Abbildung 4.8 Links: Fensterheber in Form von Tastwippen mit zwei Druckpunkten wie beim Ford Mondeo (2004). Rechts: Tastwippe mit Zug- und Druckfunktion beim Fensterheber der Mercedes Benz E-Klasse



Abbildung 4.9 Eingebauter Lenkstockhebel für Wischerbetätigung. Der korrekte Betätigungsabstand wird durch das Lenkrad vorgegeben. Durch den langen Hebel erhöht sich zudem der Greifbereich, innerhalb dessen das Drehmoment nur unerheblich schwankt.



Abbildung 4.10 links: Einseitig ausgeführte Tastwippe mit haptisch kodierter Kappe bei Porsche, rechts: Tastwippe eines Audi-Fensterheber-Bedienelements. Die Bewegung läuft bogenförmig um die Drehachse. Es kann sowohl auf Zug als auch auf Druck sowie ein- und zweistufig getastet werden.