

Der aktive Sidestick als Bedienelement im Elektromobil

Bernhard WEBER¹, Michael PANZIRSCH², Carsten PREUSCHE² und Barbara DEML¹

¹*Institut für Arbeitswissenschaft, Fabrikautomatisierung und Fabrikbetrieb, Universität Magdeburg, Universitätsstraße 2, D-39106 Magdeburg*

²*Robotik und Mechatronik Zentrum, Deutsches Zentrum für Luft- u. Raumfahrt, Postfach 1116, D-82234 Wessling*

Kurzfassung: Alternativ zur konventionellen Steuerung eines Fahrzeugs mittels Lenkrad und Pedalerie, wurden in den letzten Jahrzehnten innovative Konzepte zur Steuerung mit einem Sidestick vorgestellt. Sidesticks sind joystick-ähnliche Stellteile, wie sie zum Beispiel in der Luftfahrt zum Einsatz kommen. Während die mechanische Entkopplung von Stellteil und Stellelementen (wie z.B. Gaspedal und Drosselklappe) eine fahrdynamische Optimierung der Signalumsetzung ermöglicht, gehen wichtige Rückmeldegrößen (wie z.B. Lenkradmomente) verloren. Aus diesem Grunde wurden sog. „aktive Sidesticks“ entwickelt, die eine Rückmeldung wichtiger Parameter wie Lenkwinkel, Bahnkrümmung oder Längsgeschwindigkeit aktiv am Stellteil ermöglichen. Solche aktiven Sidesticks zur Steuerung von Längs- und Querdynamik wurden bislang nur prototypisch umgesetzt (z.B. Eckstein 2001; Penka 2001). In der vorliegenden Überblicksarbeit sollen die empirischen Ergebnisse dieser Prototypenstudien vorgestellt und zu einem Gesamtbefund zusammengefasst werden.

Bei neuartigen Elektromobilen mit vier unabhängig voneinander ansteuerbaren Rädern ist die mechanische Entkopplung von Bedienelement und Lenk- bzw. Antriebsaktuator systembedingt, wodurch sich ein größerer Gestaltungsspielraum für die Mensch-Maschine-Interaktion ergibt. Auf Basis der bisherigen Befundlage wird ein Konzept vorgestellt, das den Einsatz eines aktiven Sidesticks als Mensch-Maschine-Schnittstelle in einem Elektromobil vorsieht.

Schlüsselwörter: Aktives Stellteil, X-by-Wire, Automobil

1. Einleitung

Bereits 1987 stellte Airbus mit der A320 erstmalig ein ziviles Luftfahrzeug vor, das ausschließlich elektrisch, d. h. ohne mechanische Kopplung von Stellteil und Stellelementen gesteuert werden konnte (Moir & Seabridge 2003). Nach der erfolgreichen Implementierung solcher „Fly-by-wire“ Systeme in der Luftfahrt, wurden auch im Automobilbereich Konzepte zur elektrischen Steuerung von Längs- oder Querdynamik („X-by-Wire“) vorgelegt. Der wesentliche Vorteil solcher Systeme liegt darin, dass die Umsetzung der Steuerbefehle fahrdynamisch optimiert werden kann. Durch die „X-by-Wire“-Technologie sind zudem auch alternative, ergonomisch optimierte Bedienkonzepte im Fahrzeug denkbar, die Lenkrad und Pedalerie

ersetzen könnten. Die Gestaltung der konventionellen Bedienelemente ergab sich im Wesentlichen durch die mechanische Kopplung mit den Stellelementen und orientiert sich demnach an technischen Gegebenheiten und weniger an ergonomischen Gestaltungsprinzipien (z.B. Bubb 2000). So entspricht beispielsweise die Steuerung der Längsdynamik nicht dem ergonomischen Prinzip der Kompatibilität (vgl. Eckstein 2001), da sowohl Beschleunigung als auch das Bremsen durch Vorwärtsbewegungen der Fußpedale gesteuert werden. Insgesamt werden die zwei Freiheitsgrade der Fahrzeugbewegung (Längs- und Querdynamik) mit fünf Bedienelementen (drei Pedale, Schaltknüppel, Lenkrad) gesteuert. Die getrennte Beeinflussung von Quer- und Längsdynamik führt gerade in reaktionskritischen Fahrsituationen auch zu einer sequentiellen Bedienung (z.B. erst bremsen, dann lenken). Daneben schränkt das Lenkrad die Sicht auf wichtige Instrumente ein und birgt ein hohes Verletzungsrisiko bei einem Aufprall. Beim Rangieren sind teils große Stellbewegungen und ein Umgreifen am Lenkrad nötig.

Tatsächlich liegen Befunde dafür vor (Reichart 2001), dass die meisten Unfälle auf Defizite bei der Manipulation der Bedienelemente (Stabilisierungsebene nach Donges, 1982) zurückzuführen sind.

Als Alternative zu Lenkrad und Pedalerie wurden in den letzten Jahrzehnten vorwiegend joystick-ähnliche Bedienelemente prototypisch implementiert und untersucht. Sogenannte Sidesticks erlauben eine Integration beider Fahrdynamiken, sind intuitiv zu bedienen, schränken die Sicht nicht ein und verringern zugleich das Verletzungsrisiko. Ein generelles Problem bei der Nutzung von X-by-wire Systemen ist jedoch, dass durch den Entfall der mechanischen Kopplung auch relevante Rückmeldegrößen zu Fahrzeugzustand und Straßenbeschaffenheit (Eckstein 2001) nicht weiter verfügbar sind. Um dem Fahrer relevante Informationen (z.B. aktuelle Geschwindigkeit, Lenkwinkel) rückzumelden, bieten sogenannte aktive Sidesticks zusätzlich die Möglichkeit, bestimmte Zustandsgrößen am Stellteil in Form von Krafrückmeldung oder Stellteilauslenkung abzubilden.

In der vorliegenden Studie sollen die Ergebnisse einer Literaturrecherche zu zweidimensionalen Sidesticks berichtet werden. Dabei sollen zwei Forschungsfragestellungen beantwortet werden:

Zeigt sich ein positiver Effekt auf die Fahrgüte und die subjektive Beanspruchung bei Steuerung mit einem aktiven Sidestick a) im Vergleich mit den konventionellen Bedienelementen und b) im Vergleich mit einem passiven Sidestick?

Abschließend wird basierend auf den Ergebnissen ein Konzept zur Nutzung des aktiven Sidesticks in einem Elektromobil mit vier Radnabenmotoren diskutiert.

2. Methode

Es wurde eine Literaturrecherche zu zweidimensionalen Sidesticks durchgeführt, wobei folgende Einschlusskriterien für die Primärstudien formuliert wurden:

1. Es wurden zwei Dimensionen mit einem Sidestick gesteuert
2. Es wurde ein Vergleich von aktivem Sidestick und konventioneller Anordnung und/ oder ein Vergleich von aktivem vs. passivem Sidestick durchgeführt

In den resultierten $N = 8$ Primärstudien waren jedoch nur in zwei Studien die zur Berechnung von Effektstärken nötigen deskriptiven Daten dokumentiert, weswegen die Befunde nicht quantitativ aggregiert werden konnten. Die Primärstudien beinhalten Fahrversuche, Simulationsstudien sowie simple Regelaufgaben (Folge-

oder Kompensationsaufgaben). Abgesehen von einer Studie (Kienle et al. 2009) erfolgte der Steuerbefehl mittels Kraftvorgabe am Stellteil und die aktive Rückmeldung durch eine Stellteilauslenkung.

3. Ergebnisse

In Tabelle 1 sind die Studien und die Ergebnisse zusammengefasst.

Tabelle 1: Übersicht über die Primärstudien und Ergebnisse

Studie	N	Bewertung des aktiven Sidestick im Vgl. mit konventioneller Anordnung	Bewertung des aktiven im Vgl. mit dem passiven Sidestick
Bolte (1991)	48	Sign. bessere Performanz Sign. geringere Beanspruchung	---
Eckstein (2001)	64	<i>Längsführung:</i> Sign. bessere Performanz <i>Querführung:</i> Kein sign. Effekt bei normaler Fahrt - Bei Seitenwind sign. besser Kein sign. Effekt auf die Beanspruchung	Keine sign. Effekte Sign. geringere Beanspruchung
Hosman (1990)	?	---	Sign. bessere Performanz
Kienle et al. (2009)	24	<i>Längsführung:</i> Sign. bessere Performanz <i>Querführung:</i> Kein sign. Effekt Kein sign. Effekt auf die Beanspruchung	<i>Längsführung:</i> Sign. bessere Performanz <i>Querführung:</i> Kein sign. Effekt Sign. geringere Beanspruchung (bei Personen mit Fahrpraxis)
Mayer (1987)	60	---	Sign. bessere Performanz Sign. geringere Beanspruchung
Mücke (2000)	24	---	Sign. bessere Performanz Sign. geringere Beanspruchung
Penka (2001)	51	Ebenbürtig bei ausreichendem Training Bessere Performanz bei plötzlichen Ausweichmanövern	---
Thurecht et al. (1996)	12	---	Sign. bessere Performanz Kein sign. Effekt auf die Beanspruchung

Der Vergleich der Fahrleistung mit aktivem Sidestick vs. konventioneller Anordnung zeigt, dass beim Fahren mit aktivem Sidestick mindestens ebenbürtige Leistungen erzielt werden, wobei ein positiver Effekt bei der Längsführung besonders deutlich ist. Offensichtlich ist die richtungskompatible Zuordnung von Beschleunigung und Bremsen beim Sidestick der Steuerung mit Pedalerie überlegen. Querdynamisch ist der aktive Sidestick mindestens ebenbürtig mit signifikanten Vorteilen bei Kompensationsaufgaben (z.B. Seitenwind; s. Eckstein 2001) oder plötzlichen Ausweichmanövern (Penka 2001). Drei Studien berichten ähnliche oder geringere subjektive Beanspruchung mit aktivem Sidestick verglichen mit der konventionellen Anordnung.

Beim Vergleich von aktivem und passivem Sidestick dokumentieren fünf von sechs Studien einen deutlich positiven Effekt der aktiven Rückmeldung. In den fünf Studien, in denen die Beanspruchung gemessen wurde, wird – bis auf eine Ausnahme – eine signifikante Reduktion beim Fahren mit aktivem Sidestick berichtet.

4. Diskussion

Insgesamt ergibt sich durch die zusätzliche Rückmeldung von relevanten Zustandsgrößen am Stellteil ein deutlicher Vorteil. Zudem scheint das Fahren mit aktivem Sidestick verglichen mit der konventionellen Steuerung mindestens gleich gute Fahrleistungen bei ähnlicher Beanspruchung zu ermöglichen, obwohl an den obigen Studien (mit Ausnahme von Eckstein 2001) Personen teilnahmen, die Fahrpraxis mit der konventionellen Anordnung hatten.

Bei Fahrzeugen mit vier unabhängig voneinander ansteuerbaren Rädern, wie dem beim DLR entwickelten Elektromobil „RoMo“ könnten die drei resultierenden Bewegungsfreiheitsgrade (Vorwärts-, Seitwärts- und Gierbewegung) mit einer konventionellen Steuerung nicht genutzt werden. Hier könnte ein dreidimensionaler aktiver Sidestick ein angemessenes Bedienkonzept darstellen, bei dem alle Stellgrößen über eine Schnittstelle beeinflusst werden können.

Denkbar wären verschiedene Betriebsmodi je nach Fahrgeschwindigkeit wie z. B. ein Fahr- und ein Rangiermodus (vgl. Bünte 2011, Lauria 2006). In zukünftigen Studien sollte die Gebrauchstauglichkeit und Nutzerakzeptanz eines dreidimensionalen Sidesticks in Abhängigkeit von den verschiedenen Geschwindigkeitsbereichen untersucht werden.

5. Literatur

1. Bolte, U. 1991, Das aktive Stellteil – ein ergonomisches Bedienkonzept, Fortschritt-Berichte VDI-Reihe 17, 75, VDI-Verlag Düsseldorf.
2. Bubb, H. 2000, Operator support in technical systems. Human Error and System Design and Management, Lecture Notes in Control and Information Sciences, 253, 153-162.
3. Bünte, T. 2011, Human Machine Interface Concept for Interactive Motion Control of a Highly Maneuverable Robotic Vehicle, eingereicht beim IEEE Intelligent Vehicles Symposium, IV11.
4. Donges, E. 1982, Aspekte der aktiven Sicherheit bei der Führung von Personenkraftwagen, Automobilindustrie, 2, 183-190.
5. Eckstein, L. 2001, Entwicklung und Überprüfung eines Bedienkonzepts und von Algorithmen zum Fahren eines Kraftfahrzeuges mit aktiven Sidesticks, Fortschritt-Berichte VDI-Reihe 12, 471, VDI-Verlag Düsseldorf.
6. Kienle, M., Damböck, D., Kelsch, J., Flemisch, F., Bengler, K. 2009, Towards an H-Mode for highly automated vehicles: Driving with side sticks. AutomotiveUI 2009, 19-23.
7. Lauria, M. & Nadeau, I. 2006, Design and Control of a Four Steered Wheeled Mobile Robot, 32nd Annual Conference on Industrial Electronics, 4020-4025.
8. Mayer, A. 1987, Untersuchung über den Einfluss eines aktiven Bedienelements auf die menschliche Regelleistung. Fortschritt-Berichte VDI-Reihe 17, 37, VDI-Verlag Düsseldorf.
9. Moir, I. & Seabridge, A.G. 2003, Civil Avionics Systems, London: Professional Engineering Publishing Ltd.
10. Mücke, S. 2000, Der Einfluß der Aufgabenschwierigkeit auf die leistungs- und beanspruchungsbezogenen Potentiale aktiver Stellteile, Zeitschrift für Arbeitswissenschaften, 54 (26), 1-9.
11. Penka, A. 2001, Vergleichende Untersuchung zu Fahrerassistenzsystemen mit unterschiedlichen aktiven Bedienelementen, Dissertation an der TU München.
12. Reichart, G. 2001, Menschliche Zuverlässigkeit beim Führen von Kraftfahrzeugen. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 22, Nr. 7. Düsseldorf: VDI Verlag.
13. Thurecht, F., Mücke, S., Rohmert, W., Kubbat, W. & Landau, K. 1996, Entwicklung eines aktiven Steuerknüppels zur Untersuchung der Mensch-Maschine-Schnittstelle „Cockpit“. Tagungsband der DGLR-Jahrestagung, September 1996 in Dresden, 167-174.