Integration von Bedienelementen in Faserverbundwerkstoffe – Nutzerstudie zur haptischen Wahrnehmung verschiedener Oberflächenstrukturen

André KAISER[1], Marcel MEYER[2], Frank DITTRICH[1], Lothar KROLL[2]

[1] Professur Arbeitswissenschaft und Innovationsmanagement, TU Chemnitz, Erfenschlager Straße 73, D-09125 Chemnitz
[2] Professur Strukturleichtbau und Kunststoffverarbeitung, TU Chemnitz, Reichenhainerstr. 31-33, D-09126 Chemnitz

Kurzfassung: Intelligente Leichtbau-Materialien sollen zukünftig auch eine direkte Interaktion mit dem Nutzer ermöglichen. Anstatt Bedienelemente separat zu verbauen, können diese bereits bei der Fertigung der Oberflächenstrukturen integriert werden. Dabei stellt sich die Frage, wie Oberflächen von Leichtbau-Materialien, insbesondere von Faserverbund-werkstoffen, modelliert werden sollten, so dass eine für den Nutzer eindeutig erkennbare und angenehme Wahrnehmung der Bedienelemente ermöglicht wird. Dies wurde im Rahmen einer Nutzerstudie mit 61 Probanden für sechs verschiedene Oberflächen-strukturen zu je zwei Einpresstiefen und vier verschiedenen Materialien untersucht. Als Methode wurde das semantische Differential nach Mühlstedt et al. (2014) auf die rein haptische Wahrnehmung angepasst. Die Ergebnisse zeigen, welche Oberflächenstruktur, welches Material und welche Einpresstiefe sich zur Applikation von Bedienelementen in Oberflächen eignen.

Schlüsselwörter: Bedienelemente, Oberflächenstruktur, semantisches Differential, Haptik

1. Einleitung

Bei der Interaktion zwischen Mensch und Maschine werden Informationen vorrangig über den haptischen, optischen und akustischen Kanal ausgetauscht (DIN EN ISO 9241-910, 2011). Je nach Anforderung und Situation kann durch die Nutzung bestimmter Kanäle die Mensch-Maschine-Interaktion verbessert werden. Zum Beispiel wird ein Fahrer eines Fahrzeugs abgelenkt, wenn er optische Bedienelemente im Cockpit (z.B. die Klimaanlage) suchen muss. Demgegenüber können haptisch wahrnehmbare Elemente, wie Dreh-/Drückschalter, die Suche vereinfachen, ohne eine Ablenkung vom Straßenverkehr zu erzeugen.

Im Bundesexzellenzcluster MERGE wird an neuartigen und intelligenten Leichtbau-Materialien geforscht, die auch für die Mensch-Maschine-Interaktion von Bedeutung sind. Am Beispiel einer Schaltkulisse im Fahrzeug soll die Nutzung intelligenter Leichtbau-Materialien für die Mensch-Maschine-Interaktion demonstriert werden. Um die Sicherheit und den Komfort der Interaktion sicherzustellen, ergibt sich die Anforderung, die in Leichtbau-Materialien zu integrierenden Bedienelemente möglichst haptisch wahrnehmbar und angenehm fühlbar zu gestalten.

Um Erkenntnisse zur Gestaltung zu erhalten, wurde eine Nutzerstudie durchgeführt. Dabei bewerteten 61 Probanden die Wahrnehmung von Leichtbau-Materialien mit sechs verschiedenen Formen, vier verschiedenen Materialien und zwei verschiedenen Einpresstiefen.

2. Versuchsdesign

2.1 Semantisches Differential zur Messung der Oberflächeneigenschaften

Zur Bewertung der Wahrnehmung der Oberflächenstrukturen wurde das semantische Differential nach Mühlstedt, Jentsch und Bullinger (2014) verwendet. Demnach lassen sich Oberflächeneigenschaften mittels semantischer Differentiale messen, was in den Arbeiten von Kaiser und Bullinger (2015) sowie Kaiser, Mühlstedt und Bullinger (2015) bestätigt werden konnte. 14 Adjektivpaare bilden die Grundlage zur Messung, wobei nach Mühlstedt et al. (2014) verschiedene Informationskanäle die Wahrnehmung dominieren. In den Vorüberlegungen gruppierte er die Differentiale nach Tabelle 1 während seine Ergebnisse diese Gruppierung nicht vollständig bestätigen konnten (Tabelle 2).

Tabelle 1: *Vorgruppierung der semantischen Differentiale nach dominierter Wahrnehmung (Mühlstedt et al., 2014)*

haptisch dominiert	optisch dominiert	ähnlich repräsentiert
glatt/rau	*dunkel/hell*	*eben/strukturiert*
hart/weich	*matt/glänzend*	*fein/grob*
leicht/schwer	*dezent/kräftig*	*instabil/stabil*
elastisch/starr		*modern/zeitlos*
kalt/warm		*alltäglich/einmalig*
		angenehm/unangenehm

Tabelle 2: *Ergebnisse der dominierten Wahrnehmung der Differentiale (Mühlstedt et al., 2014)*

haptisch dominiert	optisch dominiert	ähnlich repräsentiert
fein/grob	*dunkel/hell*	*elastisch/starr*
glatt/rau	*dezent/kräftig*	*hart/weich*
	eben/strukturiert	*alltäglich/einmalig*
	angenehm/unangenehm	*leicht/schwer*
	kalt/warm	
	modern/zeitlos	
	matt/glänzend	
	instabil/stabil	

Da bei der Bedienung der Schaltkulisse die haptische Wahrnehmung fokussiert werden soll, sind im Folgenden die haptisch dominierten Differentiale und die ähnlich repräsentierten Differentiale relevant. Zusätzlich zu diesen Adjektivpaaren, wurden die Paare kalt/warm, eben/strukturiert und angenehm/unangenehm abgefragt, da ihnen im Rahmen des Fahrzeuginnenraums eine Rolle zum Qualitätsempfinden

zugeschrieben wird und diese in den Vorüberlegungen noch als ähnlich repräsentiert eingeordnet waren. Da die Erkennung der Position der Bedienelemente ein wesentlicher Bestandteil bei der rein haptischen Exploration darstellt, wurde zusätzlich abgefragt, wie gut ein Element fühlbar ist. Als Skalenniveau wurde eine 5er Skala verwendet, wobei im Weiteren von einer Intervallskalierung ausgegangen wird. Die Befragung wurde in Limesurvey umgesetzt, so dass die Befragung elektronisch gestützt durchgeführt wurde.

2.2 Versuchsablauf, Versuchsstand und Probanden

Um einen möglichst ausbalancierten Versuchsablauf zu gewährleisten und Reihenfolgeeffekte dennoch zu vermeiden, wurde ein gewichteter Zufallsgenerator verwendet, welcher die nächste zu prüfende Probe bestimmte. Die Proben wurden von den Probanden unter Verwendung einer Augenbinde rein haptisch exploriert. Als Versuchsstand konnte der Aufbau von Mühlstedt et al. (2014) verwendet werden. Dabei wird die Probe im 45° Winkel vor dem sitzenden Probanden positioniert. Da jeweils sechs Formen auf ein Werkstück aufgebracht wurden, musste zusätzlich eine Schablone als Abdeckung der restlichen Proben verwendet werden.

Insgesamt nahmen 61 Personen (26 Frauen, 35 Männer) mit einem durchschnittlichen Alter von 26,3 Jahren am Versuch teil. Das Personenkollektiv setzte sich vorrangig aus Studenten und wissenschaftlichen Mitarbeitern zusammen. Jede Person explorierte 10 Proben. Aufgrund von Zeitmangel explorierte ein Proband nur 5 Proben, so dass insgesamt 605 Bewertungen stattfanden.

2.3 Unabhängige Variablen und Probenherstellung

Als unabhängige Variablen wurden vier Leichtbau-Materialien (Kunststoff PE-HD, GMT kurzfaserverstärkt, GFK und CFK endlosfaser gewebeverstärkt), zwei verschiedene Einpresstiefen (0,3 mm und 0,6 mm) und sechs verschiedene Strukturen (siehe Abbildung 1) definiert. Es ergeben sich folglich 48 verschiedene Kombinationen, die als Proben herzustellen waren.

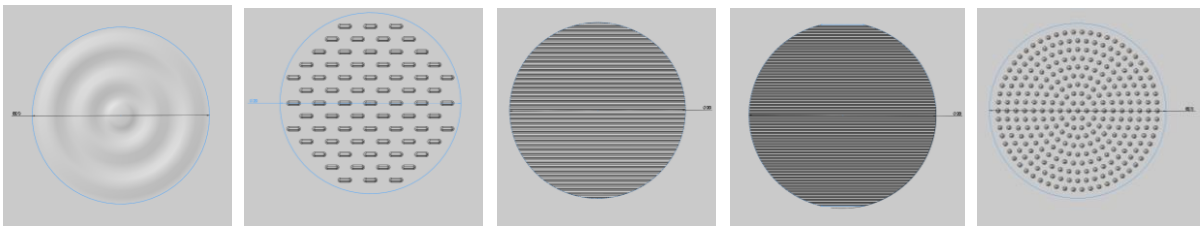

***Abbildung 1**: Strukturen: P1 bis P5 (P6 nicht dargestellt)*

Erläuterung der Strukturen (links nach rechts):

- P1 - Wellenstruktur aus der Mitte heraus mit tangential verlaufenden Kanten
- P2 - abgerundete Zylindern angeordnet in einem Perforationsmuster
- P3 – wellenförmige Kontur, die in einem linearen Muster angeordnet ist
- P4 - dreieckige Kontur, die in einem linearen Muster angeordnet ist
- P5 - verrundete Halbkugel angeordnet in einem Kreismuster
- P6 - Sandstrahlmuster mit Edelkorund

Um die ausgewählten Strukturen auf den 4 verschiedenen flächigen Leichtbau-Materialien im Pressverfahren abbilden zu können, wurden diese Strukturen als spiegelbildliches Negativ auf eine Grundplatte im generativen Laserschmelz-verfahren in mehreren Schichten von je 30 µm aufgetragen. Alle Strukturen haben einen Durchmesser von 20 mm. Nach der Herstellung wurden die Strukturen mit Glasperlen geglättet, um scharfe Kanten zu brechen. Dazu wurde jede Kontur für ca. 20 s bearbeitet.

Für die Erwärmung der Leichtbau-Materialien kam eine Infrarot-Aufheizeinrichtung zum Einsatz. Nach Aufschmelzen des Materials an der Oberfläche wurde das Material auf einer geringeren Intensivitätsstufe noch etwas länger durchgewärmt. Nach Erreichen einer homogenen Aufheiztemperatur wurde das Material schnellstmöglich zur Presse transportiert, auf eine ebene Grundplatte gelegt und mit dem Oberstempel der Negativformen verpresst. Es lag eine Werkzeugtemperatur von 100 °C bei allen Materialen vor. Die Abbildung 2 zeigt die gefertigten Proben, welche den Probanden in der Nutzerstudie zur haptischen Wahrnehmung der Oberflächenstrukturen vorgelegt wurden.

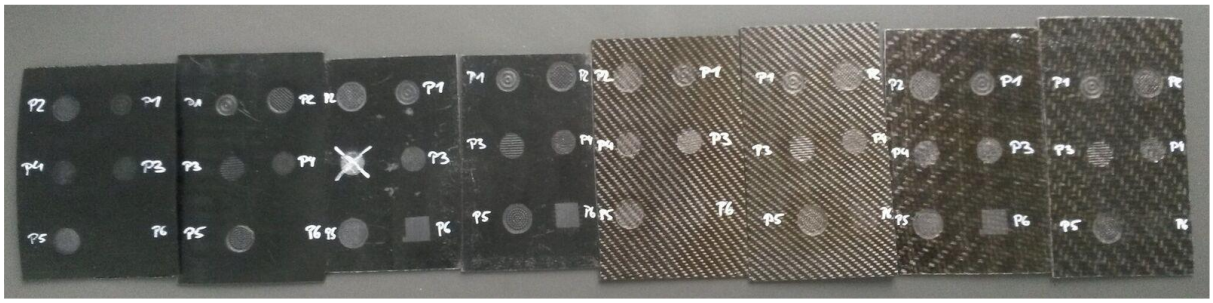

Abbildung 2: *Proben (Material und Einpresstiefe) von links nach rechts: Kunststoff PE-HD 0,3 mm und 0,6 mm; GMT kurfaserverstärkt 0,3 mm und 0,6 mm; CFK und GFK endlosfaserverstärkt für Einpresstiefe 0,3 mm und 0,6 mm*

3. Ergebnisse

3.1 Material und Einpresstiefe

Aufgrund der randomisierten Reihenfolge ergaben sich für Kunststoff PE-HD 144, für endlosfaserverstärkte GFK 159 und für CFK sowie kurzfaserverstärktes GMT jeweils 151 Bewertungen. Bei den verschiedenen Materialien sind wenige signifikante Unterschiede festzustellen. Tendenziell fühlt sich der Kunststoff glatter, weniger hart und feiner an als die restlichen Materialien. Der wesentlichste Unterschied findet sich beim Adjektivpaar angenehm/unangenehm. Demnach zeigen sich signifikante Effekte ($p < 0.05$) zwischen dem Kunststoff und den anderen Materialien. Der Kunststoff fühlt sich dabei angenehmer an. Bei der Fühlbarkeit der Bedienelemente sind wiederum keine signifikanten Unterschiede festzustellen.

3.2 Einpresstiefen

Die verschiedenen Einpresstiefen wurden je 309 Mal (0,6 mm) und 296 Mal (0,3 mm) exploriert. Dabei konnten keinen signifikanten Effekt auf die subjektive Beurteilung beobachtet werden.

3.3 Strukturen

Die Struktur P1 wurde 112 Mal, P2 100 Mal, P3 98 Mal, P4 96 Mal, P5 94 Mal und P6 105 Mal exploriert. Die Auswertung der Daten nach den verschiedenen Strukturen zeigt, dass P1, P3 und P6 als signifikant angenehmer bewertet werden als die Strukturen P2, P4 und P5. Die Strukturen P1, P2 und P5 sind signifikant besser als Bedienelement fühlbar. Die Adjektivpaar rau/glatt und strukturiert/eben ähneln einander in der Beziehung zur Fühlbarkeit. Grob, strukturierte und raue Bedienelemente werden gut als Bedienelement gefühlt aber eher als unangenehm bewertet. Die Ergebnisse sind in Abbildung 3 graphisch dargestellt.

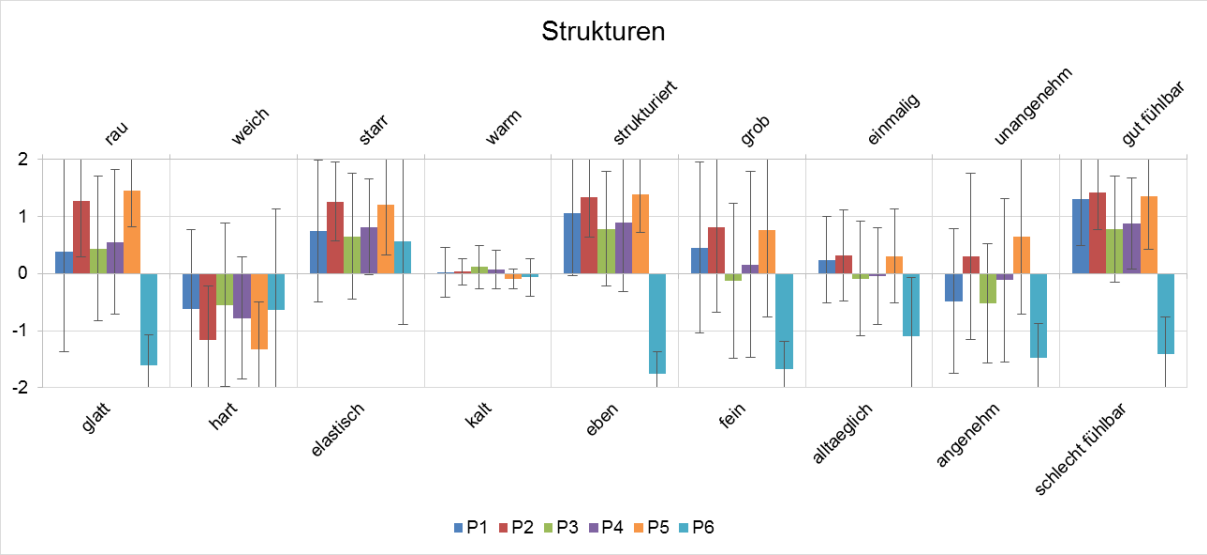

***Abbildung 3**: Gegenüberstellung von MW mit SD der gepressten Formen*

4. Diskussion und Ausblick

Insgesamt konnte gezeigt werden, dass reiner Kunststoff PE-HD als signifikant angenehmer als die anderen Materialien beurteilt wird, ohne das die Bedienelemente weniger gut fühlbarer sind. Als Ergebnis des direkten Vergleichs wird somit empfohlen die Bedienelemente auf der Kunststoffoberflächen zu integrieren. Es konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den Einpresstiefen ermittelt werden, weshalb es zweckmäßig erscheint die geringere Einpresstiefe (0,3 mm) zu verwenden. Abschließend kann die Struktur P1, aufgrund der Kombination von guter Fühlbarkeit und angenehmer Wahrnehmung, zur Abbildung von Bedienelementen empfohlen werden.

Die Untersuchung zeigt zudem, dass semantische Differentiale zur rein haptischen Beurteilung von Oberflächen geeignet sind. Dies ist besonders gut an den sich stark unterscheidenden Bewertungen der Struktur P6 zu den anderen Strukturen oder den Unterschieden zwischen Kunststoff und den restlichen Materialien erkennbar. Die indifferente Beurteilung des Differentials kalt/warm bestätigt die Erkenntnisse von Mühlstedt et al. (2014) wonach das Differential bei gleicher Temperatur eher optisch dominiert wird.

Nach Festlegung des Materials, der Einpresstiefe und der Bedienelementstruktur gilt es weiterführend zu definieren welche Anordnung die in die Oberfläche integrierten Bedienelemente in der Schaltkonsole haben sollen. Dabei müssen die anthropometrischen Maße der relevanten Population beachtet werden. Über einen Nutzertest sollen zudem die Belegungspläne der Bedienelemente definiert werden.

5. Literatur

DIN EN ISO 9241-910. Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 910: Rahmen für die taktile und haptische Interaktion. Deutsches Institut für Normung e.V. Berlin: Beuth Verlag., 2011.

Mühlstedt J, Jentsch M, Bullinger AC (2014) Haptische Textur vs. optische Struktur. Haptik im Spannungsfeld von Leichtbau und Stabilität. In: GfA e.V. (Hrsg.), Gestaltung der Arbeitswelt der Zukunft, 60. Kongress der GfA. Dortmund: GfA-Press.

Kaiser A, Mühlstedt J, Bulliner AC (2015) Was man sieht, ist, was man fühlt? – multimodale Wahrnehmung verschiedener Oberflächenstrukturen. Mensch 2020, Postersession Tagungsband Innteract 2015. 07.05.2015 bis 08.05.2015, Chemnitz (S. 401-405).

Kaiser A, Bullinger AC (2015). What we see is what we feel. haptic texture versus optical structure at the example of a gear lever knob demonstrator. In: Kroll, L. (Hrsg.), International MERGE Technologies Conference for Lightweight Structures. (S. 353-357). Verlag wissenschaftliche Scripten.

Danksagung:
Diese Arbeit entstand im Rahmen des Bundesexzellenzcluster EXC 1075 „Technologiefusion für multifunktionale Leichtbaustrukturen“ und wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft gefördert. Die Autoren danken für die finanzielle Unterstützung.

Gesellschaft für
Arbeitswissenschaft e.V.

Soziotechnische Gestaltung des digitalen Wandels – kreativ, innovativ, sinnhaft

63. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

FHNW Brugg-Windisch, Schweiz

15. – 17. Februar 2017

GfA Press

Bericht zum 63. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 15. – 17. Februar 2017

FHNW Brugg-Windisch, Schweiz

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.
Dortmund: GfA-Press, 2017
ISBN 978-3-936804-22-5

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Jahresdokumentation

Als Manuskript zusammengestellt. Diese Jahresdokumentation ist nur in der Geschäftsstelle erhältlich.

Alle Rechte vorbehalten.

© GfA-Press, Dortmund

Schriftleitung: Matthias Jäger
im Auftrag der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Ohne ausdrückliche Genehmigung der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. ist es nicht gestattet, den Kongressband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) zu vervielfältigen.

USB-Print: Dr. Philipp Baumann, Olten

Screen design und Umsetzung
© 2017 fröse multimedia, Frank Fröse
office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de