

## **Experimentelle Untersuchung der Form einer Unterarmauflage eines interaktionsbasierten Armassistenzsystems in der laparoskopischen Chirurgie**

Ferdinand LANGER, Eray CAY, Thomas MAIER

*Institut für Konstruktionstechnik und Technisches Design  
Forschungs- und Lehrgebiet Technisches Design, Universität Stuttgart  
Pfaffenwaldring 9, D-70569 Stuttgart*

**Kurzfassung:** Bei laparoskopischen Operationen ergeben sich häufig statische, nicht komfortable Arm- und Oberkörperhaltungen. Um dem entgegenzuwirken wurde ein interaktionsbasiertes Armassistenzsystem entwickelt, das die oberen Extremitäten durch eine Unterstützungskraft physisch entlastet und den Unterarmbewegungen uneingeschränkt über einen Form- und Reibschluss der Unterarme mit der Armauflage folgt. Es wird der Interfaceparameter Form der Unterarmauflagen anhand von vier Formvarianten untersucht. Die Probanden führen eine Präzisionsaufgabe in drei Bewegungsrichtungen aus. Es werden die Fehleranzahl und Durchführungszeit, das Komfort-, Präzisions-, Sicherheits- und Passgenauigkeitsempfinden sowie die empfundene Förderung der Aufgabenausführung durch die jeweilige Form untersucht und diskutiert.

**Schlüsselwörter:** Armassistenzsystem, Exoskelett, Mensch-Maschine-Interaktion, Unterarmauflage, Anthropometrie, Laparoskopie

### **1. Einleitung**

Bei einer laparoskopischen Operation ergeben sich häufig statische, nicht komfortable Arm- und Oberkörperhaltungen, welche zu einer hohen Beanspruchung der oberen Extremitäten der Chirurgen führt (Galleano et al. 2006, Szeto et al. 2012, Choi 2012). Dadurch kann es bei Präzisionsaufgaben zu Ermüdung und Effektivitätsreduzierung mit erhöhter Fehlerrate kommen (Galleano et al. 2006). Um dem entgegenzuwirken wurde im Rahmen eines interdisziplinären Forschungsprojekts (IoC 103) ein interaktionsbasiertes chirurgisches Armassistenzsystem (CAS) entwickelt, das die oberen Extremitäten des Operators während laparoskopischer Eingriffe physisch entlastet (Abbildung 1). Dies wird durch die aktive Unterstützung der Unterarme erreicht. Dabei wirkt auf die Unterarme eine individuell an das Körpergewicht adaptierbare Unterstützungskraft (Karlovic 2019). Die Mensch-Maschine-Schnittstelle stellt die Unterarmauflage dar, welche den natürlichen Unterarmbewegungen uneingeschränkt folgt. Nach Karlovic (2019) sind die Gestaltungsempfehlungen für die Länge der Unterarmauflage 40 % der Unterarmlänge und für die Mitte der Stützposition 30 % der Unterarmlänge distal vom Olecranon entfernt.

Ein Lösen des Unterarmes vom chirurgischen Armassistenzsystem (CAS) muss in sicherheitskritischen Situationen jederzeit möglich sein. Dies geschieht durch eine schnelle vertikale Bewegung der Arme nach oben. (Karlovic et al. 2015) Folglich können die Unterarme nicht fest, z. B. durch ein Klettband, mit der Unterarmauflage

verbunden werden. Die Steuerung der Armstütze erfolgt ausschließlich über einen Form- und Reibschluss der Unterarme mit der Unterarmauflage des CAS. Daraus ergibt sich, dass die Interfaceparameter Form und Material der Unterarmauflage Kriterien für die effektive und effiziente Interaktion mit dem CAS sind. Diese Interfaceparameter werden im Rahmen eines Forschungsprojekts (DFG 430136438) untersucht.

In dieser Studie soll die objektive und subjektive Gebrauchstauglichkeit der Form der Unterarmauflage anhand von vier Formvarianten grundlegend untersucht werden. Drei perzentil- und geschlechtsadaptierte, anthropomorphe, offene U-Formen werden darin einer flachen Form und keiner Stützung durch das CAS gegenübergestellt. Dies erfolgt für die beim Formschluss relevanten Bewegungsrichtungen des um 90° angewinkelten Unterarmes, Anteversion, Adduktion und Rotation des Oberarmes. Das Ziel dieser Untersuchung ist es, erste Erkenntnisse zur objektiven und subjektiven Gebrauchstauglichkeit der Form der Unterarmauflage im Kontext dynamischer Bedienszenarien mit dem Armassistenzsystem sowie Erkenntnisse über den Einsatz des CAS in dynamischen Bedienszenarien zu gewinnen.

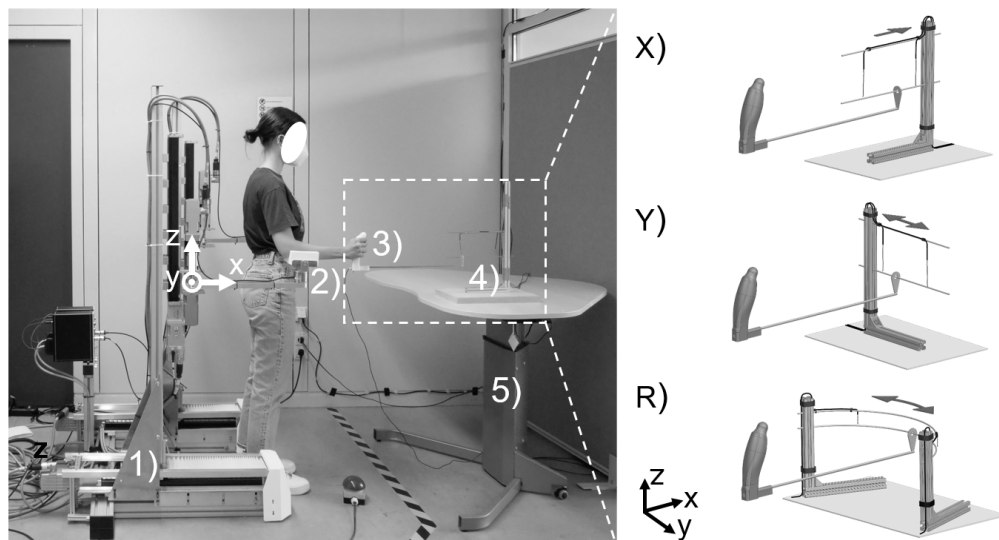
## 2. Methode

Um die Form der Unterarmauflage zu untersuchen wird ein Versuchsszenario, angelehnt an die laparoskopische Chirurgie, aufgebaut und eine Probandenstudie durchgeführt. Siebzehn Personen (Alter:  $\bar{X}$  = 23,5 Jahre,  $SD$  = 2,8 Jahre,  $Range$  = 21-30 Jahre; 41 % weiblich (w); 59 % männlich (m)). Die Probanden waren zu 82 % Rechtshänder und zu 18 % Linkshänder. Zu Beginn werden die Körpermaße der Probanden erfasst. Der Unterarmumfang lässt sich bei acht Probanden dem 5-Perzentil, bei acht Probanden dem 50-Perzentil und bei einem Probanden dem 95-Perzentil jeweils am nächsten zuordnen.

In der Probandenstudie führen die Teilnehmenden mit der dominanten Hand eine Präzisionsaufgabe in drei Bewegungsrichtungen in Form des Schiebens eines abstrahierten, minimalinvasiven Instrumentes mit Loch ( $D = 8,4$  mm) über einen Stab ( $D = 3,0$  mm) aus, wobei der Kontakt zwischen beiden vermieden werden soll. Die Bewegungsrichtungen des um 90° angewinkelten Unterarmes entsprechen der Anteversion (X), Adduktion (Y) und Rotation (R) des Oberarmes (vgl. Abbildung 1). Adduktion und Rotation erfolgen medial, abhängig von der Händigkeit. Durch einen Kontakt an Start und Ende der Bewegungsausführung werden die objektiven Parameter Ausführungszeit und die Berührungsanzahl (Fehleranzahl) des Instrumentes mit dem Stab erfasst. Die Höhe der Trajektorie des Stabes wird zu Versuchsbeginn probandenspezifisch angepasst.

Es werden jeweils freihändig ohne Stützung und Form (KF) sowie eine flache (FF) und drei anthropomorphe Unterarmformen (P05, P50, P95) mit Unterstützung untersucht (vgl. Tabelle 1). Die Länge der Formen der Unterarmauflagen entspricht geschlechtsspezifisch 40 % der Unterarmlänge eines 50-Perzentil Erwachsenen, mittig ausgehend von der Stützposition 30 % der Unterarmlänge distal vom Olecranon entfernt. (Karlovic 2019). Die anthropomorphen Negativformen der Unterarmauflagen entsprechen geschlechtsspezifisch den 5-, 50- und 95-Perzentil Erwachsenen aus RAMSIS NextGenAutomotive 1.5.

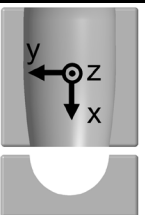
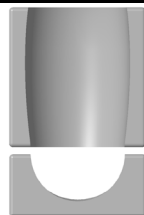
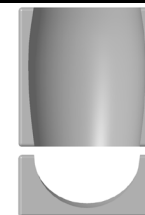

Die Präzisionsaufgaben werden zum Kennenlernen des Armassistenzsystems mit einer konkaven Form geübt. Die Unterstützungskraft durch das Armassistenzsystem wird gewichtsadaptiert eingestellt (Unterstützungskraft:  $\bar{X}$  = 24,3 N,  $Range$  = 13,8-45,9 N).



**Abbildung 1:** Versuchsaufbau mit rechthändiger Probandin; interaktionsbasiertes Armassistenzsystem CAS (1), Mensch-Maschine-Schnittstelle Unterarmauflage (2), Versuchsinstrument (3), Versuchsaufgabe X-Richtung (4, X), Versuchsaufgabe Y-Richtung (Y) und Rotation (R), höhenverstellbarer Tisch (5)

Zusätzlich zu den objektiven Parametern wird eine subjektive Evaluation, zum Komfort und der Passgenauigkeit der jeweiligen Form sowie dem Präzisionsempfinden, dem Sicherheitsgefühl und der Förderung der Aufgabenausführung durch die Form bzw. keine Stützung, durchgeführt. Dies erfolgt mit einer bipolaren 7-stufigen Likert-Skala. Dieses Vorgehen wird für alle in Tabelle 1 aufgeführten Kombinationen aus Unterarmauflage bzw. Form und Bewegungsrichtung randomisiert durchgeführt.

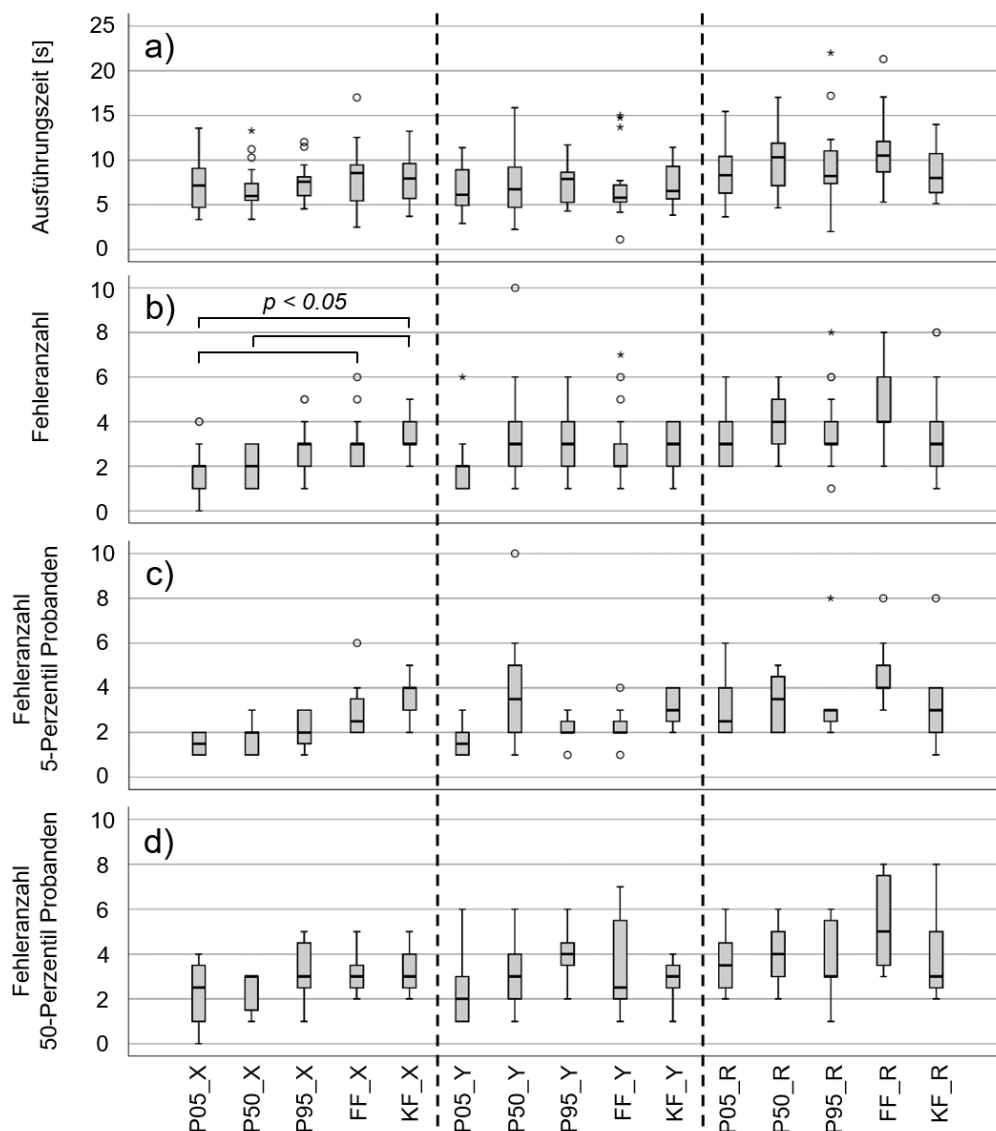
**Tabelle 1:** Kombination der Form der Unterarmauflage und der Bewegungsrichtung (Perzentil P; flache Form FF; keine Form bzw. keine Stützung KF)

Unterarm- auflage	05-P.	50-P.	95-P.	FF	KF
Bewegungs- richtung					
<b>X (Anteversion)</b>	P05_X	P50_X	P95_X	FF_X	KF_X
<b>Y (Adduktion)</b>	P05_Y	P50_Y	P95_Y	FF_Y	KF_Y
<b>R (Rotation)</b>	P05_R	P50_R	P95_R	FF_R	KF_R
<b>Form Unterarmauflage (Draufsicht und Vorderansicht)</b>					keine Stützung / keine Form / freihändig

### 3. Ergebnisse

Die Ergebnisse der objektiv gemessenen Parameter Ausführungszeit und Fehleranzahl der Studie sind in Abbildung 2 dargestellt. Abb. 2a) zeigt die

Ausführungszeit der Präzisionsaufgabe aller Probandenperzentile je nach Form und Bewegungsrichtung. Die durchschnittliche, freihändige Ausführungszeit beträgt in X-Richtung  $\bar{X} = 7,5$  s ( $SD = 2,7$  s), in Y-Richtung  $\bar{X} = 7,2$  s ( $SD = 3,0$  s) und bei Rotation  $\bar{X} = 9,9$  s ( $SD = 4,0$  s). Dem gegenüber beträgt die durchschnittliche Ausführungszeit ohne gestützten Unterarm in X-Richtung  $\bar{X} = 7,9$  s ( $SD = 2,7$  s; +4 %), in Y-Richtung  $\bar{X} = 7,3$  s ( $SD = 2,4$  s; +2 %) und bei Rotation  $\bar{X} = 8,8$  s ( $SD = 2,8$  s; -10 %). Die durchschnittliche Ausführungszeit jeder Form weicht in X-Richtung maximal -11 % (P50\_X), in Y-Richtung maximal +4 % (P95\_Y) und bei Rotation maximal +14 % (FF\_R) vom Richtungsdurchschnitt ab.



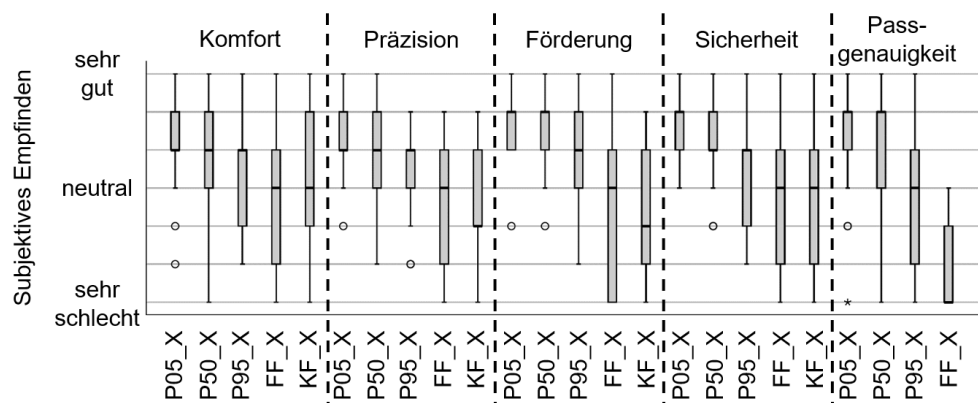
**Abbildung 2:** Ergebnisse der objektiven Parameter Ausführungszeit und Fehleranzahl aller Probanden sowie die Fehleranzahl, aufgeteilt nach Probanden des 5- bzw. 50-Perzentils in Abhängigkeit der Armauflagenform und Bewegungsrichtung

Abb. 2b) veranschaulicht die Fehleranzahl bei der Präzisionsaufgabe aller Probandenperzentile je nach Form und Bewegungsrichtung. Die durchschnittliche Fehleranzahl mit gestütztem Unterarm beträgt in X-Richtung  $\bar{X} = 2,44$  ( $SD = 1,16$ ), in Y-Richtung  $\bar{X} = 2,88$  ( $SD = 1,71$ ) und bei Rotation  $\bar{X} = 3,84$  ( $SD = 1,67$ ). Dem gegenüber beträgt die durchschnittliche Fehleranzahl ohne gestützten Unterarm in

X-Richtung  $\bar{X} = 3,41$  ( $SD = 0,94$ ; +39,6 %), in Y-Richtung  $\bar{X} = 2,94$  ( $SD = 2,4$ ; +1,9 %) und bei Rotation  $\bar{X} = 3,59$  ( $SD = 2,00$ ; -6,4 %). In X-Richtung zeigt sich von P05, P50, P95, FF bis KF eine Zunahme der durchschnittlichen Fehleranzahl um bis zu 81 %. In Y-Richtung ergibt sich dieser Effekt von P05 bis P95 (+56 %). Bei FF und KF zeigt sich gegenüber P05 in Y-Richtung eine durchschnittliche Fehlerzunahme um bis zu 47 %. Bei Rotation ergibt sich von P05, P50 und P95 bis FF eine Zunahme der durchschnittlichen Fehleranzahl um bis zu 47 %. Bei der Rotation zeigt KF gegenüber P05 eine Fehlerzunahme von 9 %.

Abb. 2c) und 2d) zeigen die Fehleranzahl bei der Präzisionsaufgabe, je nach Form und Bewegungsrichtung aufgegliedert nach Unterarmperzentilen der Probanden, dem 5-Perzentil ( $N = 8$ ) und dem 50-Perzentil ( $N = 8$ ). Bei beiden Unterarmperzentilen ist die durchschnittliche Fehlerrate bei P05 bei allen Bewegungsrichtungen am geringsten. Bei allen Kombinationen, außer P50\_Y, ist die durchschnittliche Fehleranzahl beim Unterarmperzentil des nächst höheren Formenperzentils sowie FF und KF höher, als die Fehleranzahl des korrespondierenden Unterarm- und Formperzentils, z. B. durchschnittlich mehr Fehler bei P95\_X, FF\_X und KF\_X, als bei P05\_X und P50\_X bei den Probanden des 50-Perzentils.

In Abbildung 3 sind die Ergebnisse der subjektiven Parameter aus der Befragung zu den Formen bzw. KF in X-Richtung dargestellt. Der Komfort wird bei den anthropomorphen Formen durchschnittlich besser bewertet als bei FF und KF. Dabei ist zu erkennen, dass der Komfort von P05 durchschnittlich höher ist als bei P50 und diese wiederum als komfortabler wie P95 empfunden wird. Bei der Frage nach der Präzision, ob die Form bzw. KF die feinmotorische Durchführung der Aufgabe ermöglicht, zeigt sich, dass P05, P50 und P95 durchschnittlich die Präzision fördern, wohingegen FF und KF bzgl. der Präzision neutral sind. P05 und P50 fördern die Bearbeitung der Präzisionsaufgabe gut und P95 fördert diese eher gut. Der Einfluss der flachen Form FF und keiner Stützung auf die Förderung der Bearbeitung der Präzisionsaufgabe ist neutral. Die Probanden beschreiben, dass P05 und P50 eine sichere Aufgabenausführung gut gewährleisten und P95 gewährleistet diese eher gut. Der Einfluss auf die Sicherheit bei der Aufgabendurchführung durch FF und KF ist neutral. Die Formen P05 und P50 werden entsprechend des Probandenkollektives als passgenau beschrieben. P95 wird bzgl. der Passgenauigkeit als neutral beschrieben und die flache Form FF als schlecht passgenau.



**Abbildung 3:** Ergebnisse der Befragung aller Probanden bei der X-Bewegungsrichtung in Abhängigkeit der Armauflagenform

## 4. Diskussion

Die Ergebnisse der Ausführungszeit der Präzisionsaufgabe aller Probanden-perzentile je nach Form und Bewegungsrichtung ergeben, dass die Ausführungszeit sich mit Stützung im Gegensatz zu KF in X- und Y-Richtung leicht verringert und bei Rotation leicht erhöht. Die Form hat einen geringen Einfluss auf die Ausführungszeit je nach Bewegungsrichtung. Der Einsatz des CAS in Kombination mit den unterschiedlichen Formen hat somit keinen deutlichen Einfluss auf die Ausführungszeit gegenüber keiner Stützung.

Es zeigen sich eine Reduktion der Fehleranzahl von KF über FF, P95, P50 und P05 bei der Anteversion des Armes und eine signifikante Fehlerreduktion beim Einsatz von P05 und P50 gegenüber KF sowie von P05 gegenüber FF (vgl. Abbildung 1 b)). Im Durchschnitt erfolgen weniger Fehler mit CAS und Form in Y-Richtung gegenüber KF. Daraus folgt bei dynamischer Aufgabenausführung ein positiver Einfluss des CAS, welches dynamisch den natürlichen Unterarmbewegungen uneingeschränkt folgt. Durchschnittlich mehr Fehler werden gemacht bei der Rotation mit Stützung gegenüber KF. Die Fehleranzahl nimmt von P05 über P50 und P95 bis FF und KF zu. Das zeigt einen Einfluss der Form auf die Fehleranzahl.

Die Befragung je Form und Bewegungsrichtung mit einer siebenstufigen Likert-Skala ergibt einen positiven Einfluss der anthropomorphen Formen auf das Komfort-, Passgenauigkeits-, Präzisions- und Sicherheitsempfinden sowie auf die empfundene Förderung der Aufgabenausführung gegenüber KF und FF.

In weiteren Studien sollen eine größere Anzahl an Probanden mit einer breiteren Körpermaßverteilung sowie weitere Bewegungsrichtungen und deren Kombination miteinbezogen werden. Darüber hinaus soll eine feinere Unterteilung der Unterarmformen mit anthropomorphen Negativformen des 25- und 75-Perzentils erfolgen, um die Wechselbeziehung zwischen den unterschiedlichen Formen und den Körpermaßen der Probanden zu untersuchen.

## 5. Literatur

- Choi S (2012) A review of the ergonomic issues in the laparoscopic operating room. In: Journal of Healthcare Engineering, Vol 3, No. 4:587-603.
- Galleano R, Carter F, Brown S, Frank T, Cuschieri A (2006) Can Armrests Improve Comfort and Task Performance in Laparoscopic Surgery?. In: Annals of Surgery, Volume 243, No. 3:329 - 333.
- Karlovic K, Pfeffer S, Maier T, Heidingsfeld M, Ederer M, Sawodny O (2015) Effects on performance when using a Posture Assistance Device – results of a usability evaluation in laboratory setting. In: 6th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics and the Affiliated Conferences, AHFE. Las Vegas, USA, 3323-3330.
- Karlovic K (2019) Untersuchung der Gebrauchstauglichkeit der Mensch-Maschine-Schnittstelle interaktionsbasierter, adaptiv physischer Assistenzsysteme. IKTD, Universität Stuttgart: Dissertation, 138-147.
- Szeto GPY, Cheng SWK, Poon JTC, Ting ACW, Tsang RCC, Ho P (2012) Surgeons' Static Posture and Movement Repetitions in open and Laparoscopic Surgery. In: Journal of Surgical Research 172:e19 - e31.

**Danksagung:** Diese Forschungsarbeit wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen des Forschungsprojekts "Usability-Optimierung der Interfaceparameter Form und Material bei einem interaktionsbasierten Arm-assistenzsystem" (Projektnummer 430136438) gefördert.



Gesellschaft für  
Arbeitswissenschaft e.V.

## Technologie und Bildung in hybriden Arbeitswelten

68. Kongress der  
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und  
Fabrikautomatisierung IFF, Magdeburg

02. – 04. März 2022

---

## GfA-Press

---

**Bericht zum 68. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 02. – 04. März 2022**

**Otto-von Guericke-Universität Magdeburg;**

**Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF, Magdeburg**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Sankt Augustin: GfA-Press, 2022

ISBN 978-3-936804-31-7

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Jahresdokumentation

Als Manuskript zusammengestellt. Diese Jahresdokumentation ist nur in der Geschäftsstelle (s. u.) erhältlich.

Alle Rechte vorbehalten.

© **GfA-Press, Sankt Augustin**

**Schriftleitung: Prof. Dr. Rolf Ellegast**

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,
- den Kongressband oder Teile daraus in Print- und/oder Nonprint-Medien (Webseiten, Blog, Social Media) zu verbreiten.

Die Verantwortung für die Inhalte der Beiträge tragen alleine die jeweiligen Verfasser; die GfA haftet nicht für die weitere Verwendung der darin enthaltenen Angaben.

### **Geschäftsstelle der GfA**

Simone John, Tel.: +49 (0)30 1300-13003

Alte Heerstraße 111, D-53757 Sankt Augustin

[info@gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de](mailto:info@gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de) · [www.gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de](http://www.gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de)

### **Screen design und Umsetzung**

© 2022 fröse multimedia, Frank Fröse

[office@internetkundenservice.de](mailto:office@internetkundenservice.de) · [www.internetkundenservice.de](http://www.internetkundenservice.de)