

Empirische Evaluation von Steuerungsarten für Flugroboter

Roman HERRMANN, Jens HEGENBERG, Daniela ZIEGNER, Ludger Schmidt

*Universität Kassel, Fachgebiet Mensch-Maschine-Systemtechnik
Mönchebergstraße 7, 34125 Kassel*

Kurzfassung: Flugroboter werden immer mehr im industriellen Bereich eingesetzt. Einsatzfelder sind dabei z. B. Inspektionen von schwer zugänglichen Bereichen oder die automatisierte Durchführung von Inventuren in Großlagern. Für die Steuerung solcher Flugroboter steht zumeist eine klassische Remote Control (RC) zur Verfügung, mit der die Freiheitsgrade des Flugroboters über zwei Joysticks gesteuert werden können. Eine solche Steuerung neben der eigentlichen Arbeitsaufgabe zu beherrschen ist für ungeübte Personen nahezu unmöglich. Auf der anderen Seite bietet eine Gestensteuerung eine intuitive und leicht erlernbare Möglichkeit Roboter zu steuern, die natürliche menschliche Kommunikations- und Handlungsweisen berücksichtigt. Daher wurde eine auf Gesten basierende Steuerung für Flugroboter entworfen, die als Ersatz für eine RC dienen kann. Dieser Beitrag stellt das methodische Vorgehen und die Ergebnisse einer nutzerbasierten Evaluation dar, in der Probanden mit einer RC und der entworfenen Gestensteuerung einfache Flugaufgaben lösen sollten. Ziel war insbesondere die Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit und der Intuitivität der beiden Steuerungen.

Schlüsselwörter: Gestensteuerung, Flugroboter, Remote Control, Gebrauchstauglichkeit

1. Einleitung

Flugroboter finden immer mehr Verbreitung. Ihre Einsatzgebiete sind sehr vielseitig und reichen von einfachen Hobbyanwendungen, wie Foto- und Filmaufnahmen, bis hin zu professionellen Einsätzen, wie der Detektion von Druckluftleckagen mit Hilfe von Sensoren (Hegenberg et al. 2015). Gesteuert werden diese Flugroboter meist mit einer Remote Control (RC). Auf der Suche nach natürlichen und intuitiven Mensch-Roboter-Schnittstellen erproben Forscher Gestensteuerungen, die die RC ersetzen sollen (Boudjit et al. 2008, Wai Shan Ng und Sharlin 2011, Asiimwe und Anvar 2012, Pfeil et al. 2013). Oftmals liegt der Fokus auf der technischen Realisierung oder der Gestaltung der Gestensprache bzw. deren Intuitivität und weniger der Evaluation der Gebrauchstauglichkeit. Per se ist eine Gestensteuerung nicht die effizienteste Steuerung für jede Anwendung (Nielsen et al. 2004), da Anforderungen wie z. B. eine hohe Präzision der Steuerung als ungeeignete Rahmenbedingungen für eine Gestensteuerung gelten (Glende et al. 2012). Um der Fragestellung nachzugehen, inwieweit eine Gestensteuerung die bisher übliche RC ersetzen kann, wurde eine Untersuchung konzipiert, in der eine Gestensteuerung und eine RC bezüglich der Gebrauchstauglichkeit und der verursachten Beanspruchung gegenübergestellt wurden.

2. Beschreibung der empirischen Evaluation

Die hier betrachtete Versuchsaufgabe umfasst das Abfliegen einer Route in einer Laborumgebung (*Abbildung 5* *Abbildung 1*). Die Aufgabe ist bewusst einfach gehalten, um auch Laien die Teilnahme an den Versuchen zu ermöglichen. Am Anfang und am Ende der Route gab es eine viereckige Start- bzw. Landemarkierung. Zu Beginn musste der Flugroboter aufsteigen und um die eigene Achse gedreht werden (mit 1 bzw. 2 in *Abbildung 1* markiert). Dann musste eine auf dem Boden markierte Route abgeflogen werden (in *Abbildung 1* mit gepunkteten Pfeilen angedeutet). Nach einem bzw. zwei Dritteln des abgeflogenen Parcours musste der Flugroboter auf eine bestimmte Höhe gebracht werden (mit 3 in *Abbildung 1* markiert). Am Ende sollte der Flugroboter innerhalb der Landemarkierung landen. Die Route wurde zweimal im Uhrzeigersinn (erster Durchgang) und zweimal gegen den Uhrzeigersinn (zweiter Durchgang). Die Probanden hatten vor jedem Durchlauf die Möglichkeit, fünf Minuten mit den jeweiligen Steuerungen zu üben.

Als Flugroboter wurde ein Quadrocopter des Modells AR.Drone 2.0 verwendet. Die Aufgabe galt als erfüllt, wenn der Flugroboter die Route abgeflogen hatte und am Ende mit mindestens zwei der vier Standfüße in der Landemarkierung gelandet war. Für die Studie dienten die Gebrauchstauglichkeit, gemessen über die Effektivität und Effizienz, und die Beanspruchung als abhängige Variablen. Die Effizienz wurde anhand der für die Aufgabenerfüllung benötigten Zeit gemessen. Die Beanspruchung wurde mit dem NASA-TLX-Fragebogen (Hart und Staveland 1988) erhoben. Zusätzlich wurde mit den Probanden nach jedem Durchgang ein offenes Interview durchgeführt. Zudem wurde die Intuitivität der jeweiligen Steuerung nach Ullreich und Diefenbach (2010) erhoben.

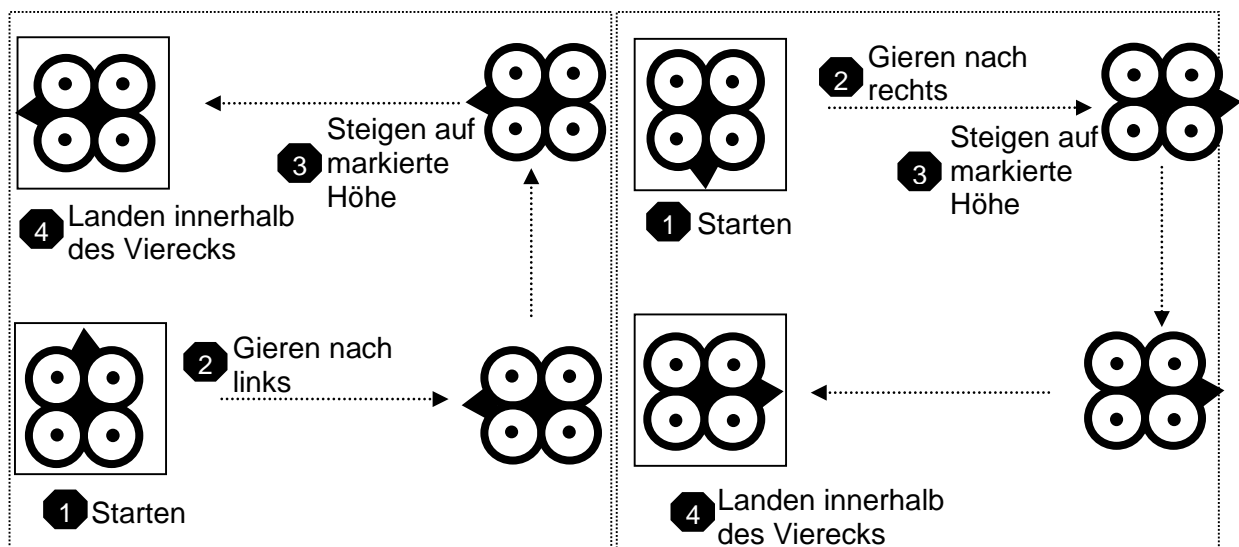


Abbildung 1: Skizze des Versuchs mit einem Flugroboter (Draufsicht). Abfliegen einer mit Pfeilen markierten Route gegen den Uhrzeigersinn (links) und im Uhrzeigersinn (rechts)

2.1 Beschreibung der Remote Control (RC)

Die AR.Drone verfügt per se über keine RC. Anstelle einer RC wurde ein kabelloses Logitech-F710-Gamepad mit einer üblichen RC-Konfiguration verwendet (*Abbildung 2*).

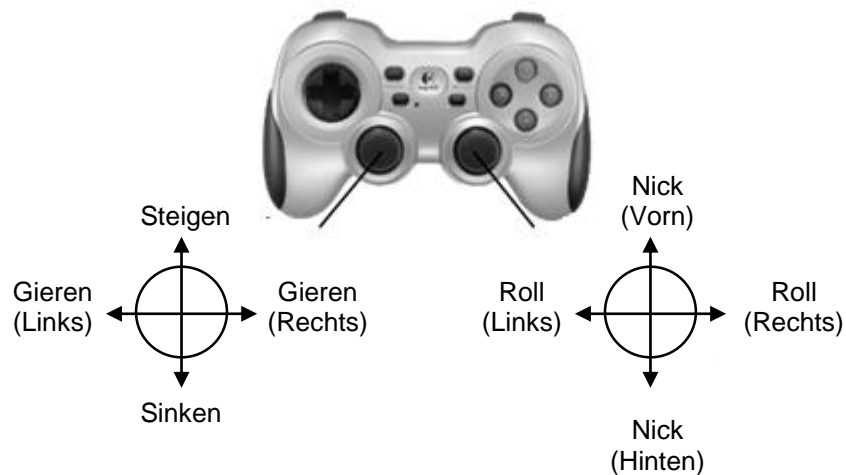


Abbildung 2: Belegung der Joysticks des Gamepads (einer RC nachempfunden)

2.2 Beschreibung der Gestensteuerung

Die untersuchte Gestensteuerung orientiert sich an vorhandenen ergonomischen Gestaltungsempfehlungen für Gestensteuerungen (Nielsen et al. 2004). Für eine gebrauchstaugliche Steuerung bedarf es kurzer Ausführungszeiten der Gesten (Schmidt et al. 2014). Eine daraus resultierende Gestensteuerung ist zweigeteilt und in Abbildung 3 dargestellt. Die rechte Hand imitiert die Fluglage des Flugroboters und steuert die Nick- und Rollbewegungen des Flugroboters. Die linke Hand steuert die Gier- und Pitchbewegung des Flugroboters. Die Bewegungserkennung wird mit einem markerbasierten infraroptischen Verfahren realisiert. Zum Einsatz kommt hierbei ein Motion-Tracking-System der Fa. Advanced Realtime Tracking. Während einer Gestenausführung muss die Taste 1 des Flysticks (Abbildung 4) gedrückt werden.

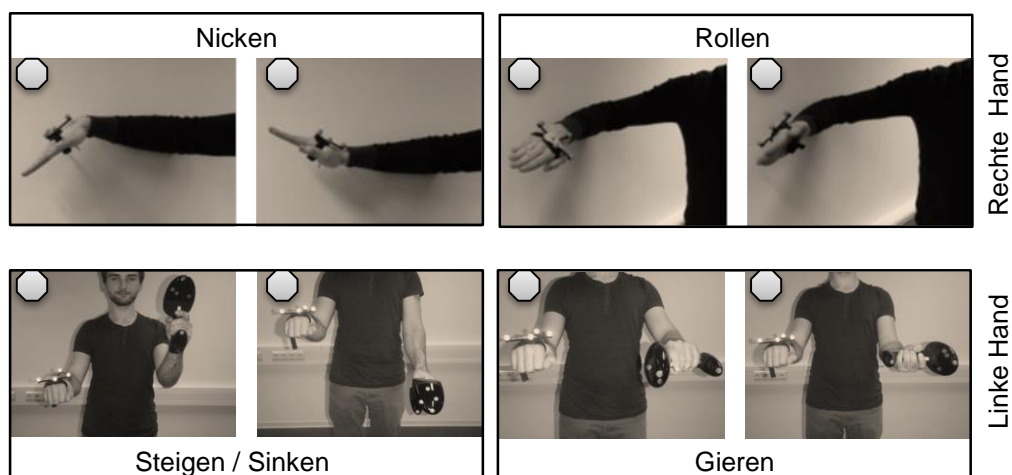


Abbildung 3: Steuerung der Nick- und Rollbewegung mit der rechten Hand (oben) und Steuerung des Steigens bzw. Sinkens und Gierbewegung mit der linken Hand. 1. Palmarflexion → Nicken nach vorn, 2. Dorsiflexion → Nicken nach hinten, 3. Pronation → Rollen nach links, 4. Supination → Rollen nach rechts. 5. Heben der Hand → Steigen, 6. Senken der Hand → Sinken, 7. Pronation → Gieren nach links, 8. Supination → Gieren nach rechts.

Für jede Hand gibt es eine individuell konfigurierbare Mindesthöhe, in der die Hand mindestens gehalten werden muss, damit die Kommandos erkannt werden. Sind die Hände unter dieser Höhe oder die Taste am Flystick nicht gedrückt, werden keine Kommandos an den Flugroboter gesendet.

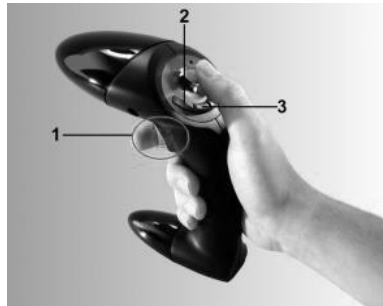


Abbildung 4: Flystick für Gestensteuerung

2.3 Ergebnisse von Pretests

In Pretests wurde die Rückmeldung der Steuerungen bemängelt. Aufgrund des Innenfluges wurde der Flugroboter bewusst so eingestellt, dass er sich maximal mit 0,1 m/s bewegt. Bei der Gestensteuerung konnte zudem beobachtet werden, dass sich die Probanden oftmals unsicher waren, ob eine Geste von dem System erkannt worden war. Bei der RC konnten die Probanden anhand der haptischen Rückmeldung des Gamepads (Ausschlag der Joysticks) dies zumindest erahnen. Um diesem Problem zu begegnen, wurde zusätzlich eine automatische akustische Rückmeldung, welches Kommando der Flugroboter ausführt bzw. welches Kommando vom System erkannt worden ist, sowohl bei der RC als auch bei der Gestensteuerung gegeben.

3. Ergebnisse

An der Untersuchung nahmen 14 Personen (9 männlich, 5 weiblich) mit einem Durchschnittsalter von 27,5 Jahren teil. Insgesamt konnten 52 Flüge mit dem Flugroboter ausgewertet werden (26 RC, 26 Gesten). Nur zwei der Probanden gaben an, schon mit einer RC einen Flugroboter gesteuert zu haben. Alle Probanden gaben an, schon eine Gestensteuerung verwendet zu haben (meist im Zusammenhang mit Spielekonsolen).

Es konnten keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Effektivität gefunden werden. 16-mal wurde die Aufgabe mit der Gestensteuerung, 14-mal mit der RC erfüllt. Die geringere Effektivität ist mit den Flugeigenschaften des Flugroboters zu begründen, der, wenn er sich nahe am Boden befand, aufgrund der selbst verursachten Turbulenzen nur schwer zu kontrollieren war. Die benötigte Zeitdauer für die erfolgreichen Versuche unterscheidet sich minimal, der Mittelwert der RC lag bei 79,5 s, der Mittelwert der Gestensteuerung bei 83,25 s. Hinsichtlich der Effizienz konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Die Beanspruchung war im Mittel geringfügig niedriger mit der RC ($\bar{\varnothing}$ 61,7) als mit der Gestensteuerung ($\bar{\varnothing}$ 63,7). Insgesamt können bezüglich der Gebrauchstauglichkeit keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden.

Die Mediane des INTUI-Fragebogens (Ullrich und Diefenbach 2010) sind in Abbildung 5 dargestellt. Auffällig sind die Unterschiede hinsichtlich der Bewertung der Steuerungen im Nachhinein. Der Median bei der RC bei dem Aussagenpaar „kann ich nicht sagen, wie ich das Produkt benutzt habe“ - „kann ich genau sagen, wie ich das Produkt benutzt habe“ liegt bei 6 während er bei der Gestensteuerung bei 4 liegt. Ebenso deutlich unterscheiden sich die Mediane bei dem Aussagenpaar „kann mich gut an die Bedienung erinnern“ - „fällt mir schwer, mich an die Bedienung zu erinnern“. Die übrigen Unterschiede sind gering.

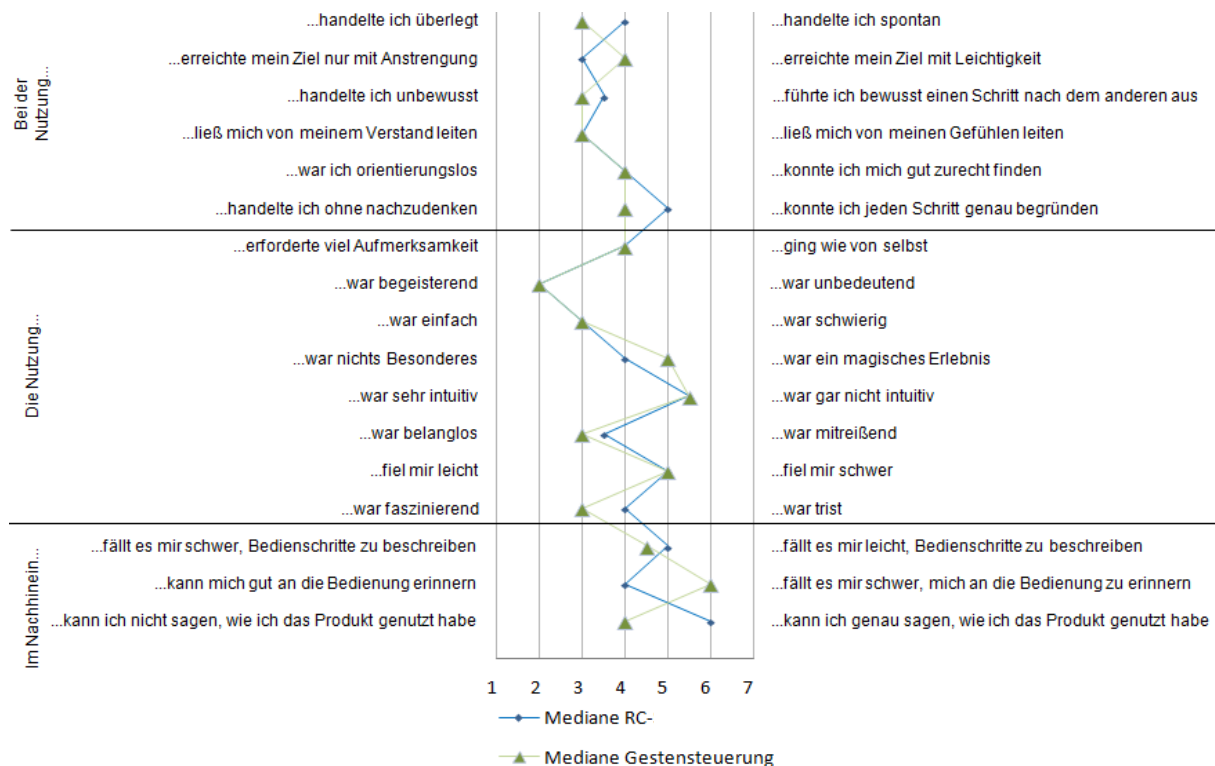


Abbildung 5: Darstellung der Mediane der RC und der Gestensteuerung des INTUI-Fragebogens nach Ullrich und Diefenbach (2010)

Bezüglich der Gestensteuerung äußerten die Probanden Probleme mit der gleichzeitigen Koordination beider Hände. Als störend empfanden sie das Drücken der Taste am Flystick. Sechs Probanden waren der Meinung, dass die Gestensteuerung körperlich anstrengender als die RC sei. Subjektiv empfanden die Mehrzahl der Probanden (9 von 14) die Gestensteuerung als unpräziser. Positiv äußerten sich die Probanden hinsichtlich der Intuitivität der Gestensteuerung.

4. Diskussion

Die Ergebnisse der empirischen Evaluation deuten an, dass eine Gestensteuerung für die Steuerung von Flugrobotern hinsichtlich der Gebrauchstauglichkeit nicht besser oder schlechter geeignet ist, als die herkömmliche RC. Mit beiden Steuerungen können untrainierte Personen leichte Flugmanöver mit Flugrobotern ausführen. Die hier durchgeführte Evaluation ist allerdings zu kurz, um insbesondere Vergleiche bezüglich der körperlichen Beanspruchung zu erfassen. Es ist zu vermuten, dass die Gestensteuerung bei längerer Benutzung eine höhere körperliche Beanspruchung verursacht als die RC.

Die hier betrachtete Aufgabe erforderte zudem nur wenig Präzision. Es ist ebenso zu vermuten, dass die Gestensteuerung unpräziser als die RC ist.

Während der Pretests hat sich gezeigt, dass eine Gestensteuerung hinsichtlich der Rückmeldung der RC unterlegen ist. Daher sollte bei einer Gestensteuerung eine zusätzliche Rückmeldung gegeben werden. Dies sollte auch bei der Erstellung von Gestaltungsempfehlungen zu Gestensteuerungen berücksichtigt werden. Zudem gibt es Optimierungspotentiale bei der Gestensteuerung hinsichtlich der Gebrauchstauglichkeit. Das Drücken der Taste am Flystick bereitet den Probanden Schwierigkeiten. In zukünftigen Realisierungen von Gestensteuerungen für Flugroboter ist zu überlegen, ob das Drücken eines Knopfes für die Gestenerkennung notwendig ist oder ob dies durch andere Verfahren ersetzt werden kann.

5. Literatur

- Asiimwe R, Anvar A (2012) Automation of the Maritime UAV Command, Control, Navigation Operations, Simulated in Real-Time using Kinect Sensor: A Feasibility Study. In: World Academy of Science, Engineering and Technology 72, 408-412.
- Boudjit K, Larbes C, Alouache M (2008) Control of flight operation of a quad rotor ar. drone using depth map from microsoft kinect sensor. In: International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT) 3, 15–19.
- Glende S, Nedopil C, Hunstock V, Friess M (2012) Unberührte Möglichkeiten-Ideen und Anforderungen zur Gestensteuerung aus Nutzersicht. In: Ambient Assisted Living - 5. Deutscher AAL-Kongress, VDE, Berlin
- Hart, S G, Staveland, L (1988) Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. In: Hancock, P. A. ; Meshkati, N. (Hrsg.): Human mental workload. Amsterdam: North-Holland Publishing, 139–183.
- Hegenberg J, Herrmann R, Ziegner D, Schmidt L, Günther T, Ordoñez Müller, A et al. (2015) Forschungsprojekt Robotair: Praxistaugliches Boden-Luft-Servicerobotersystem für die Inspektion industrieller Druckluftversorgung und die Verbesserung der Arbeitsumgebungsfaktoren. In: Technische Sicherheit 5 (5), 16–22.
- Nielsen M, Störring M, Moeslund T, Granum E (2004) A Procedure for Developing Intuitive and Ergonomic Gesture Interfaces for HCI. In: Antonio Camurri und Gualtiero Volpe (Hg.): Gesture-Based Communication in Human-Computer Interaction, Bd. 2915: Springer Berlin (Lecture Notes in Computer Science), 409–420.
- Pfeil K, Koh, Seng L, LaViola J (2013) Exploring 3D Gesture Metaphors for Interaction with Unmanned Aerial Vehicles. In: Proceedings of the 2013 International Conference on Intelligent User Interfaces. New York, NY, USA: ACM (IUI '13), 257–266.
- Schmidt L, Herrmann R, Hegenberg J, Cramar L (2014) Evaluation einer 3-D-Gestensteuerung für einen mobilen Serviceroboter. In: Zeitschrift für Arbeitswissenschaft 68 (3), 129–134.
- Ullrich, D, Diefenbach, S (2010) INTUI. Exploring the Facets of Intuitive Interaction. In J. Ziegler & A. Schmidt (Eds.) Mensch & Computer 2010, München: Oldenbourg, 251-260.
- Wai Shan N, Sharlin E. (2011) Collocated interaction with flying robots. In: RO-MAN, 2011 IEEE, 143–149.

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung, und Forschung unter dem Förderkennzeichen 01IM12007G gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.