

# Gestaltung und Evaluation einer natürlichen Flugrobotersteuerung

Roman Herrmann, Ludger Schmidt

Fachgebiet Mensch-Maschine-Systemtechnik, Universität Kassel

## Zusammenfassung

In diesem Beitrag wird ein neues Bedien- und Anzeigekonzept für die Steuerung eines Flugroboters vorgestellt, welches die Microsoft HoloLens-Datenbrille und das Thalmic Myo-Armband verwendet. Mit diesen wurde eine Augmented-Reality-Text- und Audioausgabe, eine vibrotaktile Rückmeldung sowie eine Sprach- und Gesteneingabe implementiert. Das neue multimodale Interaktionskonzept wurde schließlich in einer Nutzerstudie mit 30 Probanden evaluiert und in diesem Kontext mit einer traditionellen Remote Control verglichen.

## 1 Einleitung

Neben Anwendungen in Außenanlagen, wie Inspektionen, Aufklärung im Katastrophenfall oder Logistikaufgaben, werden Flugroboter auch in Innenbereichen eingesetzt. Der zunehmende Einsatz von Flugrobotern führt dazu, dass immer mehr Novizen, Personen, die nicht regelmäßig mit Flugrobotern operieren, mit diesen interagieren. Daraus entsteht ein Bedarf nach intuitiven, gebrauchstauglichen und schnell zu erlernenden Steuerungen.

Als eine Möglichkeit, einen Flugroboter intuitiv zu steuern, werden *natürliche Benutzungsschnittstellen* angesehen (Cauchard et al., 2016). Diese umfassen die Interaktion mit technischen Geräten mittels Gesten, Sprache oder Blickbewegungen. Natürliche Benutzungsschnittstellen weisen oft Defizite in den Bereichen Rückmeldung und Präzision auf, und dies ist ein häufiger Kritikpunkt an Gesten- oder Sprachsteuerungen (Preim und Dachsel, 2015; Norman, 2010). Auch in Evaluationen von Gestensteuerungen für Flug- und Bodenroboter erwiesen sich fehlende Rückmeldung und mangelhafte Präzision häufig als negativer Einflussfaktor auf die Gebrauchstauglichkeit (Cauchard et al., 2016; Jones et al., 2010). Im Zusammenhang mit der Steuerung von Flugrobotern können insbesondere Durchsichtdatenbrillen und Augmented-Reality (AR)-Benutzungsschnittstellen die Defizite bezüglich Rückmeldungen reduzieren. Allerdings konnten diese Möglichkeiten aufgrund mangelhafter Verfügbarkeit leistungsstarker und ergonomischer Durchsichtdatenbrillen bisher nicht genutzt werden.

Problematisch bei der Verwendung von natürlichen Benutzungsschnittstellen sind zudem die benötigten Geräte. So schränken z. B. stationäre Kameras den Interaktionsraum des Operators ein. Bei der Steuerung eines Flugroboters ist aufgrund der Kompensation von Fehlern bei Entfernungsschätzungen ein eingeschränkter Bewegungsfreiraum zu vermeiden. Neue verfügbare Geräte, wie bewegungserkennende Armbänder oder auch kabellose Durchsichtdatenbrillen erlauben Steuerungen von Flugrobotern, die den Nutzer nicht einschränken.

Bisherige Forschungsarbeiten bezüglich natürlicher Benutzungsschnittstellen für Flugroboter fokussieren häufig einzelne Aspekte, wie die Definition geeigneter Eingabealphabete oder Techniken und Algorithmen zur Erkennung von Eingabealphabeten. Für eine Gebrauchstauglichkeit sind allerdings mehrere Aspekte gleichzeitig zu betrachten. Auch Cauchard et al. (2016) regen dazu an, multimodale Eingabe- und Ausgabemethoden parallel zu nutzen und zu evaluieren. Dieser Beitrag beschreibt eine solche multimodale natürliche Steuerung für Flugroboter, die eine Durchsichtdatenbrille und ein bewegungserkennendes Armband verwendet. In Abschnitt 2 wird der Beitrag in den Forschungskontext eingeordnet. Die Analyse von Gestaltungsempfehlungen in Abschnitt 3 ermöglicht nachfolgend die Konzeption und Implementierung der Benutzungsschnittstelle (Abschnitt 4). Die entwickelte Benutzungsschnittstelle wird in Abschnitt 5 in einer experimentellen Untersuchung evaluiert und mit einer konventionellen Remote Control (RC) verglichen. Anschließend erfolgt die Diskussion der Ergebnisse sowie ein Ausblick (Abschnitt 6).

## 2 Forschungskontext

Die Steuerung von Flugrobotern mit konventionellen Konzepten (RC) erfordert vom Operator konstante Aufmerksamkeit, die zu einer hohen Belastung des Operators führt (Peshkova, Hitz und Kaufmann, 2017). Daher rückten in den letzten Jahren verstärkt natürliche Benutzungsschnittstellen in den Fokus, mit dem Ziel die Belastung zu reduzieren. Dabei fokussierten sich Forscher und Entwickler auf die Definition intuitiver Eingabealphabete (Peshkova, Hitz und Kaufmann, 2017; Cauchard et al., 2016; Jones et al., 2010), Verfahren zur maschinellen Erkennung von Eingabealphabeten (Thalnic Labs, 2016; Monajjemi et al., 2016) oder die Gestaltung von Rückmeldungen (Monajjemi et al., 2016).

Jedoch ist eine natürliche Benutzungsschnittstelle per se nicht gebrauchstauglich (Norman, 2010). Neben Intuitivität gibt es eine Reihe von weiteren Kriterien, die erfüllt sein müssen, um eine gebrauchstaugliche Mensch-Computer-Interaktion zu gewährleisten (Preim und Dachsel, 2015; Nielsen et al., 2004). So stellen z. B. Preim und Dachsel (2015, S. 524) und Schmidt et al. (2014) fest, dass lange Gestenausführungszeiten trotz hoher Intuitivität der Gesten keine gebrauchstaugliche Mensch-Roboter-Interaktion ermöglichen. Zudem stellen Forscher fest, dass Anforderungen an hohe Präzision den Einsatz von Gestensteuerungen erheblich erschweren (Preim und Dachsel, 2015). Bisherige Arbeiten konnten zwar nachweisen, dass sie zu intuitiven Eingabealphabeten führen, allerdings fehlt teilweise der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit. Nur wenige Forscher und Hersteller führten bisher Nutzerstudien durch, in denen die natürlichen Benutzungsschnittstellen allerdings Defizite, insbesondere bezüglich Rückmeldung und Präzision, aufwiesen (Herrmann et al., 2016; Yu et al., 2014). In diesem Beitrag wird daher

eine natürliche Benutzungsschnittstelle konzipiert, realisiert und evaluiert, die die bisherigen Defizite von natürlichen Benutzungsschnittstellen in den Fokus nimmt.

### 3 Analyse bisheriger Gestaltungsempfehlungen

Peshkova, Hitz und Kaufmann (2017) und Cauchard et al. (2016) sprechen sich für multimodale, intuitive Eingabealphabete in Form von Gesten- und Sprachbefehlen aus. Dabei gehen Peshkova, Hitz und Kaufmann (2017) wie auch Cramar et al. (2012) davon aus, dass einheitliche Gestensätze für die Steuerung mobiler Roboter, die als intuitiv bezeichnet werden können, nicht existieren. Allerdings werden Gesten als intuitiv empfunden, sofern sie nicht dem mentalen Modell des Anwenders widersprechen. Neben dem Kriterium der Intuitivität werden weitere Anforderungen an Gesten formuliert (Preim und Dachselt, 2015; Wachs et al., 2011; Nielsen et al., 2004). Für die Steuerung eines Flugroboters und die benötigte Tiefenwahrnehmung ist zudem eine Einschränkung des Interaktionsraums zu vermeiden. Bezüglich Sprachbefehlen stellen Cauchard et al. (2016) und Peshkova, Hitz und Ahlström (2016) eine hohe Varianz an möglichen Eingabebefehlen fest, die bei der Gestaltung einer Steuerung zu berücksichtigen sind.

Unabdingbar für eine hohe Gebrauchstauglichkeit sind Rückmeldungen (DIN EN ISO 9241-13, S. 7). Die visuelle Rückmeldung sollte bei der Steuerung eines Flugroboters idealerweise unmittelbar in das Sichtfeld des Operator eingebildet werden, um den Operator nicht von der eigentlichen Aufgabe der Steuerung abzulenken (DIN EN ISO 9241-13, S. 7). Für die Steuerung eines Flugroboters bedeutet dies, dass das Sichtfeld des Operators nicht zu sehr eingeschränkt und der Flugroboter nicht von Einblendungen verdeckt werden sollte. Demnach sollte der zentrale Bereich im Sichtfeld (im Folgenden als Steuerbereich bezeichnet) frei von Einblendungen sein. Hierfür bieten sich Durchsichtdatenbrillen an, die es ermöglichen, Informationen während der Steuerung eines Flugroboters in das Sichtfeld einzublenden. Für Statusmeldungen, wie die Signalstärke zwischen Steuergerät und Flugroboter, schlägt DIN EN ISO 9241-13 (S. 8) vor, diese immer an derselben Stelle anzuzeigen.

Die in der Datenbrille eingeblendeten Rückmeldungen müssen schnell erkennbar und gut lesbar dargestellt werden. Es bestehen bisher nur wenig Gestaltungsempfehlungen im Bereich der Informationsdarstellung für Durchsichtdatenbrillen, die auf diese Aspekte fokussieren (Livingston, 2013). Richtlinien und Erkenntnisse bezüglich der farblichen Gestaltung für andere Darstellungsmedien sind teilweise nicht problemlos übertragbar, da die Aufmerksamkeit des Operators zumeist auf dem Flugroboter und der realen Umgebung liegt. Dadurch spielen Farben und Beleuchtung der Umwelt eine große Rolle (Debernardis et al., 2014), die bei der Gestaltung beachtet werden müssen (Gabbard et al., 2006). Aufbauend auf Gabbard et al. (2006) und Debernardis et al. (2014) wurde in Herrmann et al. (2016) für die Gestaltung textueller (Warn-) Meldungen bei der Steuerung eines Flugroboters die Schriftfarben schwarz bzw. rot mit der Hintergrundfarbe weiß vorgeschlagen. Bezüglich des Schriftgrades empfehlen Renkewitz et al. (2008) eine Größe der Schrift von 15 pt. DIN EN ISO 9241-13 (2000) empfiehlt, dass „Rückmeldungen in Übereinstimmung mit den Aufmerksamkeitsanforderungen der Arbeitsaufgabe stehen sollten“ (S. 7). Für die Gestaltung der Rückmeldung in diesem Fall bedeutet dies, dass

auch auditive Rückmeldungen gegeben werden müssen, da die Aufmerksamkeit des Operators nicht unbedingt auf Einblendungen in der Datenbrille liegt.

## 4 Konzeption und Realisierung

### 4.1 Definition Eingabealphabet

Das in Herrmann et al. (2016) eingesetzte Gesteneingabealphabet erfüllte teilweise die Gestaltungsempfehlungen. Das mentale Modell, dass das Ellenbogengelenk durch Pronation, Supination und Flexion die Nick- und Rollbewegung des Flugroboters vorgibt (Abbildung 1), wurde hinsichtlich der Intuitivität positiv eingeschätzt. Basierend auf dem mentalen Modell, dass Teile des menschlichen Körpers die Fluglage des Roboters vorgeben, erscheint die Steuerung der Rotation um die Gierachse über eine Körperdrehung sinnvoll. Eine ähnliche Steuerung eines Kamerasystems erzielte in Hegenberg et al. (2012) positive Ergebnisse.

Das mentale Modell der Imitation der Flugroboterlage kann bezüglich des Steigens und Sinkens nicht konsequent beibehalten werden. Der gleichzeitigen Erhöhung aller Rotoren eines Flugroboters, was zu einer Steigbewegung führt, kann nicht analog in dem Modell umgesetzt werden. Andere Autoren, wie Peshkova, Hitz und Kaufmann (2017), schlagen die Abduktion bzw. Adduktion eines oder beider Arme vor. Dies ist vor dem Hintergrund kurzer Gestenausführungsdauern, z. B. beim Wechsel von Vorwärtsgeste zu Steiggeste mit demselben Arm, nicht geeignet. Sollte hierfür der linke Arm verwendet werden, würde die Steuerung erweitert und die mentale Beanspruchung vermutlich gesteigert. Eine Möglichkeit, die mentale Beanspruchung gering zu halten, ist für die Funktionen „Steigen“ und „Sinken“ die Kopfflexion zu nutzen. Der Anforderung nach entspannten, neutralen Positionen (Nielsen et al., 2004) nachkommend, werden für Flexion, Supination und Pronation des Ellenbogengelenkes und des Kopfes Schwellwerte (in Abbildung 1  $Sup_{Min}$ ,  $Pro_{Min}$ ,  $Flex_{Min}$ ) definiert. Diese Schwellwerte müssen über- bzw. unterschritten werden, um einen entsprechenden Befehl an den Flugroboter zu senden. Unterhalb oder oberhalb dieser Schwellwerte werden keine Gesten erkannt. Um eine ausreichende Kontrolle über den Flugroboter zu erzielen, wird – je weiter der minimale Schwellwert überschritten wird – die Bewegungsgeschwindigkeit des Flugroboters proportional angepasst. Ebenso wie für die Funktionen „Steigen“ und „Sinken“ sind in dem mentalen Modell „Starten“ und „Landen“ nicht realisierbar. Da es sich hier um Funktionen handelt, die seltener als die anderen ausgeführt werden, wird hierfür eine „Fingergeste“ verwendet, die das Starten bzw. Landen mit Zeigefinger simuliert. Abbildung 1 fasst das Gestenalphabet zusammen.



Abbildung 1: Übersicht des Gestenalphabetes für die Steuerung des Flugroboters

Den Gestaltungsempfehlungen der multimodalen Eingabe folgend, wird zusätzlich neben dem Gesten- auch ein Sprachalphabet definiert. Hierfür werden die Ergebnisse von Peshkova, Hitz und Ahlström (2016) und Cauchard et al. (2016) genutzt und ein entsprechendes Sprachalphabet verwendet (Tabelle 1). Dabei wird ein Sprachbefehl zwei Sekunden lang ausgeführt. Während diesen zwei Sekunden können nur weitere Sprachbefehle gegeben werden.

<i>Aktion des Flugroboters</i>	<i>Sprachbefehl</i>
Starten	Start (engl.), Starte, Starten, Hebe ab
Landen	Land (engl.), Lande, Landen
Position halten	Stop (engl.), Halte, Schwebe, Stopp, Halt
Rollen links	Left (engl.), Links, Fliege links
Rollen rechts	Right (engl.), Rechts, Fliege rechts
Nicken vorwärts	For (engl.), Vor, Vorwärts, Fliege vorwärts
Nicken rückwärts	Back (engl.), Zurück, Fliege zurück
Steigen	Up (engl.), Steigen, Steige, Hoch
Sinken	Down (engl.), Sinken, Sinke, Runter
Giere links	Rotate left (engl.), Rotiere links, Giere links
Giere rechts	Rotate right (engl.), Rotiere rechts, Giere rechts

*Tabelle 1: Übersicht der Sprachbefehle für die Steuerung des Flugroboters*

## 4.2 Rückmeldung

Es werden visuelle und auditive Rückmeldungen vorgesehen. Der Analyse der Gestaltungsempfehlungen folgend, werden für die visuelle Darstellung in der Durchsichtdatenbrille vier Bereiche eingeplant. Der Steuerbereich in der Mitte, der frei von Einblendungen sein soll. Darunter werden zwei Bereiche für wichtige temporäre Benachrichtigungen und permanente Fluginformationen vorgesehen, die in roter bzw. schwarzer Schrift mit weißem Hintergrund darstellt werden. Am oberen Rand wird ein Bereich für permanente Statusinformationen reserviert, die von geringer Priorität sind. In Abbildung 2 ist links das Konzept der AR-Benutzungsschnittstelle visualisiert. Für die auditiven Rückmeldungen werden Sprachausgaben erzeugt, die bei der entsprechenden Aktion des Flugroboters ausgegeben werden.

Bei Tests stellte sich heraus, dass Informationen über die Position des Unterarms im Verhältnis zu den jeweiligen Bereichen (in Abbildung 1 zwischen  $Flex_{min}$  und  $Flex_{max}$ ,  $Sup_{min}$  und  $Sup_{max}$  und  $Pro_{min}$  und  $Pro_{max}$ ) wünschenswert ist und sowohl visuell als auch taktil dargestellt werden sollte. Daher wurden Scrollbars in die AR-Benutzungsschnittstelle integriert, die die Position des Unterarms visualisieren (in Abbildung 2 (rechts) die roten Markierungen innerhalb der Scrollbars). Zusätzlich wurde beim Überschreiten der Schwellwerte  $Sup_{min}$ ,  $Pro_{min}$  und  $Flex_{min}$  eine taktile Rückmeldung über das Armband gegeben. Außerdem stellte sich ein Bedarf nach einer situativen Entscheidung heraus, ob die Kopfsteuerung für die Gierbewegung und Höhensteuerung ein- oder ausgeschaltet ist. Daher wurden zusätzliche Sprachkommandos integriert, die die Steuerung mit dem Kopf ein- oder ausschalten.

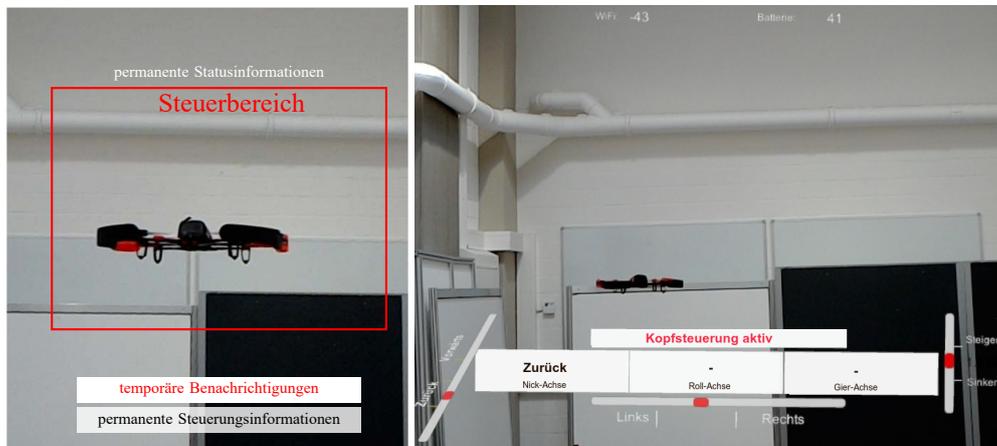


Abbildung 2: Konzept der AR-Benutzungsschnittstelle (links), Realisierung der AR-Benutzungsschnittstelle (rechts)

### 4.3 Experimenteller Aufbau

Als zu steuernder Flugroboter wird ein *Parrot Bebop* verwendet. Dies ist ein Quadrocopter, der über eine WLAN-Schnittstelle verfügt und eine mit dem Framework „Robot Operating System (ROS)“ entwickelte Softwareschnittstelle. Für die maschinelle Erkennung der Pronation, Supination und Flexion des Ellenbogengelenkes erfüllt das von der Fa. Thalmic Labs entwickelte und kommerziell verfügbare Armband *Myo* die in Abschnitt 3 aufgestellten Anforderungen. Das Armband verwendet zur Positionserkennung, zur Erkennung der Bewegungsrichtung sowie -geschwindigkeit eine Kombination aus Accelerometer, Gyroskop und Magnetometer. Das Armband verfügt ebenfalls über eine ROS-Softwareschnittstelle. Für die maschinelle Erkennung der Kopfbewegung und die Darstellung der AR-Benutzungsschnittstelle sowie der Ausgabe der akustischen Rückmeldung wird die von der Fa. Microsoft entwickelte und kommerziell verfügbare Durchsichtdatenbrille *HoloLens* verwendet. Die Implementierung der AR-Benutzungsschnittstelle erfolgt mit der Software Unity 5.5 und der Programmiersprache C#. Der Austausch zwischen Parrot Bebop, Myo und HoloLens erfolgt über User Datagram Protocol-Sockets und einem in der Programmiersprache C geschriebenen Programm, welches die Lageinformationen vom Armband und der Datenbrille sowie die von der Datenbrille aufgenommenen Sprachkommandos interpretiert.

## 5 Experimentelle Untersuchung

### 5.1 Versuchsablauf

Die betrachtete Versuchsaufgabe umfasst das Abfliegen eines mehrteiligen Parcours mit der Parrot Bebop in einer Laborumgebung, siehe Abbildung 3 (links). Der Parcours bestand aus

vier verschiedenen Abschnitten, bei denen häufig verwendete Flugmanöver mit einem Flugroboter ausgeführt werden mussten. Die Flugmanöver sind bewusst einfach gestaltet, um das Risiko von Schäden an Personen und Flugroboter gering zu halten. Jeder Abschnitt wurde mehrmals von den Probanden abgeflogen. Ziel war es bei jedem Abschnitt, den Flugroboter zu starten, Hindernisse zu umfliegen und innerhalb einer Landemarkierung den Flugroboter zu landen. Bei Abschnitt 1 musste über ein Hindernis hinweggeflogen werden. Abschnitt 2 sah das Ausweichen von zwei Hindernissen vor, wobei diese mit Roll-Bewegungen des Flugroboters umflogen werden sollten. Abschnitt 3 fügte den Roll-Bewegungen aus Abschnitt 2 noch eine auszuführende Gier-Bewegung hinzu. Abschnitt 4 stellte eine Spiegelung von Abschnitt 3 dar, um die Nutzung der Kopfsteuerung zu forcieren und mögliche Lerneffekte zu evaluieren.

Abschnitt 1 und Abschnitt 2 wurden jeweils dreimal abgeflogen, Abschnitt 3 und Abschnitt 4 jeweils zweimal. Ein Flug galt als erfolgreich absolviert, wenn der Versuchsleiter nicht eingreifen musste, um eine Kollision zu vermeiden, der Flugroboter nicht mit einem Gegenstand kollidierte und er innerhalb der Landemarkierung gelandet ist. Insgesamt mussten von jedem Proband zehn Flüge in derselben Reihenfolge absolviert werden. Es wurde ein „between-subjects-design“ gewählt, zum einen aufgrund von technischen Rahmenbedingungen (lange Umrüstzeiten für das Wechseln der Steuerungsart) und um Lerneffekte zu minimieren. Eine Gruppe verwendete für die Steuerung ein Skycontroller, der einer RC gleicht. Die andere Gruppe verwendete die entworfene natürliche Benutzungsschnittstelle. Für die Bewertung der Effektivität bzw. der Effizienz wurde die Anzahl erfolgreicher Flüge bzw. die benötigte Zeitdauer (Zeit vom Abheben des Flugroboters bis zum Landen des Flugroboters) aufgezeichnet. Neben abschließenden Interviews wurde zudem noch die Lernförderlichkeit und Zufriedenstellung mit dem Benutzungsfragebogen ISO NORM 9241/10 (Prümper, 1997) erhoben.

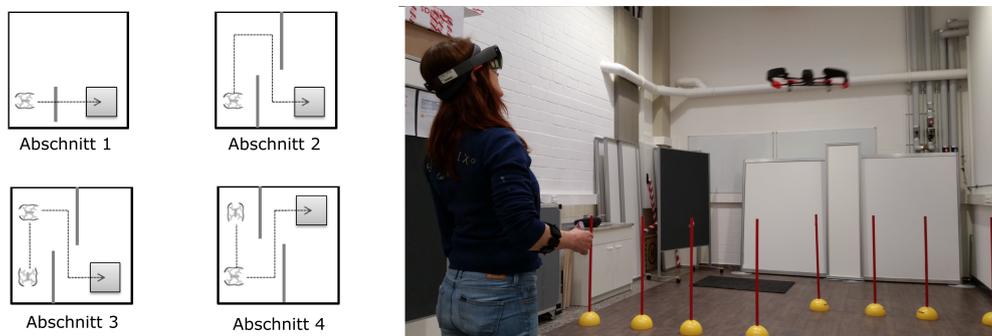


Abbildung 3: Schematische Darstellung der Abschnitte (links), Probandin während der Ausführung von Abschnitt 4 mit der natürlichen Benutzungsschnittstelle (rechts)

## 5.2 Ergebnisse

Insgesamt nahmen 30 Teilnehmer an der Studie teil, davon 15 Teilnehmer (acht männlich, sieben weiblich) im Alter von 21 bis 39 Jahren ( $\bar{x}$  27 Jahre) an der Untersuchung mit dem Skycontroller (im Folgenden RC-Studie genannt). An der Untersuchung mit der natürlichen Benutzungsschnittstelle (im Folgenden NAT-Studie genannt) nahmen 15 Teilnehmer (neun männlich,

sechs weiblich) im Alter von 21 bis 36 Jahren ( $\bar{x}$  28,1 Jahre) teil. Die Auswertung der Daten basiert auf 300 Flügen von denen 150 Flüge mit der natürlichen Benutzungsschnittstelle und 150 mit dem Skycontroller durchgeführt wurden.

Mit Bezug auf die Effektivität kann festgestellt werden, dass 140 von 150 Flügen mit der natürlichen Benutzungsschnittstelle, 132 von 150 mit der RC erfolgreich waren. Dabei wurden in der NAT-Studie pro Person durchschnittlich 9,9 Sprachkommandos während der zehn Flüge gegeben. Die meisten Sprachkommandos entfielen auf die Funktionen „Starten“, „Landen“, „Steigen“, „Sinken“, „Rotation links“ und „Rotation rechts“. Zwei Probandinnen verwendeten deutlich mehr Sprachkommandos (37 bzw. 39). Im Mittel wurden 18,94 Gestenbefehle pro Flug verwendet (ohne Fingergeste). Die Fingergeste wurde im Durchschnitt 0,76-mal pro Flug verwendet. Zu Beginn der Flüge war die Kopfsteuerung ausgeschaltet. Diese wurde im Schnitt nur 0,15-mal pro Flug eingeschaltet.

Die Zeitdauern für die erfolgreichen Versuche sind in allen Abschnitten mit der RC signifikant kürzer (Abbildung 4, Daten auf Normalverteilung und Varianzhomogenität geprüft, t-Test für unabhängige Stichproben).

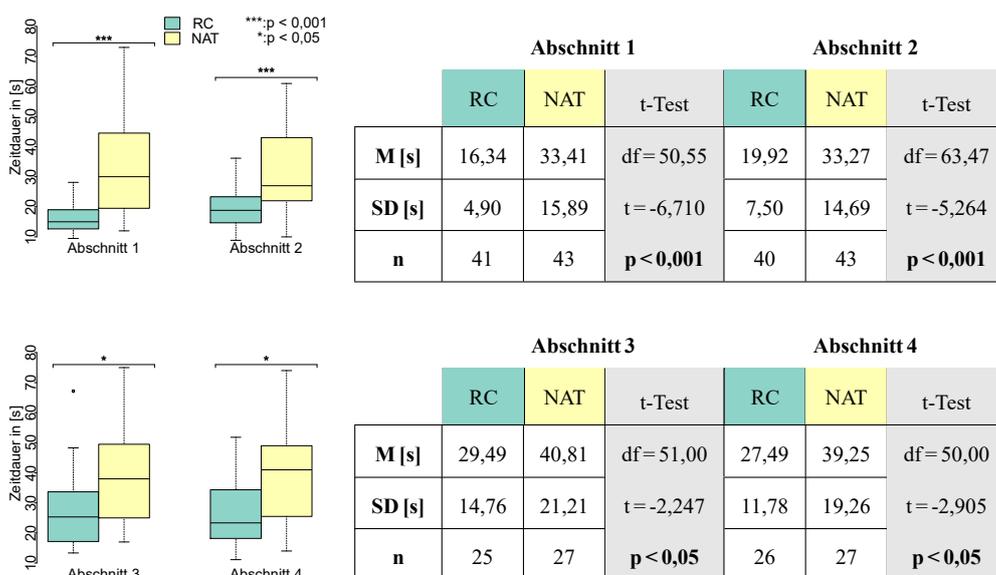


Abbildung 4: Gegenüberstellung der Zeitdauern der Flüge pro Abschnitt (links). Gruppenstatistiken pro Abschnitt und Steuerungsart sowie t-Test-Ergebnisse (M = Mittelwert der Zeitdauer, SD = Standardabweichung der Zeitdauer, n = Anzahl erfolgreicher Flüge) (rechts).

In der NAT-Studie gab es in den Abschnitten 2 (drei Flüge) und 4 (zwei Flüge) eine signifikante Reduktion der Zeitdauern zwischen dem jeweils ersten und letzten Flug (Abbildung 5, Daten auf Normalverteilung und Varianzhomogenität geprüft, t-Test für abhängige Stichproben). Mit der RC konnten solche signifikanten Effekte nicht nachgewiesen werden.

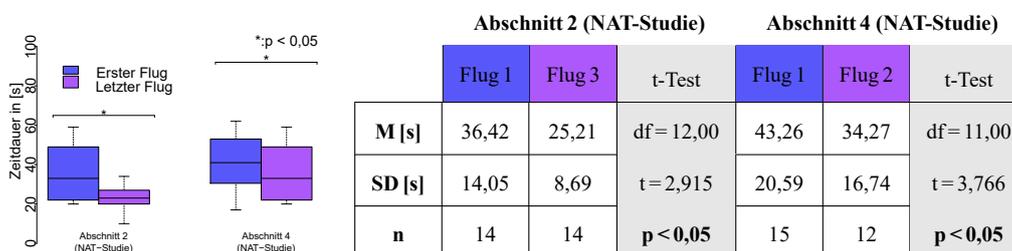


Abbildung 5: Gegenüberstellung der Zeitdauern der Flüge pro Abschnitt von jeweils erstem und letztem Flug im Abschnitt mit der natürlichen Benutzungsschnittstelle. Gruppenstatistiken pro Abschnitt und Flug sowie t-Test-Ergebnisse ( $M$  = Mittelwert der Zeitdauer,  $SD$  = Standardabweichung der Zeitdauer,  $n$  = Anzahl erfolgreicher Flüge) (rechts).

Bezüglich der Lernförderlichkeit konnten mit einem Mann-Whitney-Test keine signifikanten Unterschiede zwischen der RC-Studie ( $\bar{x}$  4,9 von 7) und der NAT-Studie ( $\bar{x}$  5,2 von 7) festgestellt werden ( $U = 88,5$ ,  $p = 0,325$ ). Allerdings wurden bezüglich der Zufriedenheit zwischen diesen beiden Studien (RC-Studie:  $\bar{x}$  4,5 von 7, NAT-Studie:  $\bar{x}$  5,4 von 7) signifikante Unterschiede zu Gunsten der natürlichen Benutzungsschnittstelle festgestellt ( $U = 14$ ,  $p < 0,001$ ).

In Interviews nannten alle Probanden, die die natürliche Benutzungsschnittstelle verwendeten, als größten Kritikpunkt die Kopfsteuerung. Diese führte dazu, dass der Flugroboter teilweise nicht mehr im Sichtfeld war. Eine Mehrzahl der Probanden gab an, nicht auf die Texteinblendungen in der Datenbrille geachtet zu haben. Größtenteils sei nur auf auditive und taktile Rückmeldungen geachtet worden. Positiv hoben die Probanden die leichten und intuitiven Gesten hervor.

## 6 Diskussion und Ausblick

Während die Effektivität zwischen der natürlichen Benutzungsschnittstelle für die Steuerung eines Flugroboters mit der RC vergleichbar ist, ist die Effizienz mit der RC signifikant größer. Ursächlich hierfür könnte nach häufigen Aussagen der Probanden die Tatsache sein, dass zu viele Möglichkeiten der Steuerung des Flugroboters mit der natürlichen Benutzungsschnittstelle vorhanden sind. Ein weiterer Aspekt, der mit der schlechteren Effizienz bezogen auf die Auswahlmöglichkeiten der Steuerung zusammenhängt, könnte zudem der Wechsel zwischen Gesten- und Sprachsteuerung bzw. Unterarm- zu Kopfsteuerung sein. Allerdings regen Forscher dazu an, bewusst viele Möglichkeiten zu verwenden (Cauchard et al., 2016; Peshkova, Hitz und Kaufmann, 2017), so dass hier weitere Nachforschungen notwendig sind, wie dies gebrauchstauglich realisiert werden kann.

Den Aussagen der Probanden nach ist die Kopfsteuerung für die gebrauchstaugliche Steuerung des Flugroboters hinderlich. Alternativ könnte überlegt werden, den zweiten Arm für die Steuerung der Höhenachse und der Gierbewegung zu nutzen. Allerdings ist zu vermuten, dass dies die Intuitivität der Steuerung reduziert, da das verwendete mentale Modelle nicht konsequent beibehalten werden kann.

Teilweise konnten in der NAT-Studie signifikante Effekte bezüglich der Reduktion der Zeitdauern zwischen dem jeweils ersten und letzten Flug eines Abschnitts beobachtet werden, was auf Lerneffekte hindeutet. Die Zufriedenheit mit der natürlichen Benutzungsschnittstelle war signifikant höher als mit der RC. Nach Mohs et al. (2006, S. 132) ist eine intuitive Interaktion auch dann gegeben, wenn eine Interaktion auch über einen nicht idealen Weg zur Zielerreichung geführt hat und nicht optimal hinsichtlich anderer Effizienzmaße ist, zudem geht sie einher mit einer Reduzierung der kognitiven Belastung. Es zeigt sich aber auch, dass eine Fokussierung auf Intuitivität oder auch ergonomische Aspekte für eine gebrauchstaugliche Steuerung eines Flugroboters nicht ausreichend ist. Daher sollte im Gestaltungsprozess der Gestensprache nicht nur die Intuitivität und Ergonomie bestimmend sein, sondern auch die Gebrauchstauglichkeit.

Interessant wäre es, die Einflüsse der Gestaltung von visuellen Rückmeldungen in Datenbrillen oder vibrotaktile Rückmeldungen in Armbändern auf die Steuerung eines Flugroboters im Einzelnen zu untersuchen. Hier wären z. B. objektive Messungen der Blickbewegungen eine Möglichkeit, um beurteilen zu können, inwieweit textuelle Einblendungen in einer Durchsichtdatenbrille bei der Steuerung eines Flugroboters sinnvoll sind.

## Literaturverzeichnis

- Cauchard, J. R., Zhai, K. Y., Spadafora, M. & Landay, J. A. (2016). Emotion Encoding in Human-Drone Interaction. In *The Eleventh ACM/IEEE International Conference on Human Robot Interaction* (S. 263–270). HRI '16. Piscataway, NJ, USA: IEEE Press. Zugriff unter <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2906831.2906878>
- Cramar, L., Hegenberg, J. & Schmidt, L. (2012). Ansatz zur experimentellen Ermittlung von Gesten zur Steuerung eines mobilen Roboters. In VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik (Hrsg.), *Ueware 2012: Mensch-Maschine-Interaktion (Kaiserslautern 2012)* (Bd. 2179, S. 173–183). VDI-Berichte. Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Debernardis, S., Fiorentino, M., Gattullo, M., Monno, G. & Uva, A. E. (2014). Text readability in head-worn displays: color and style optimization in video versus optical see-through devices. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 20(1), 125–139. doi:10.1109/TVCG.2013.86
- DIN EN ISO 9241-13. (2000). Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 13: Benutzerführung.
- Gabbard, J. L., Swan, J. E. & Hix, D. (2006). The Effects of Text Drawing Styles, Background Textures, and Natural Lighting on Text Legibility in Outdoor Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 15(1), 16–32. doi:10.1162/pres.2006.15.1.16

- Hegenberg, J., Cramar, L. & Schmidt, L. (2012). Teleoperationsunterstützung über ein HMD und ein kopfbewegungsgesteuertes Stereokamerasystem auf einem entfernten mobilen Roboter. In Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Hrsg.), *Datenbrillen* (S. 29–38). Dortmund: BAuA.
- Herrmann, R., Hegenberg, J., Ziegner, D. & Schmidt, L. (2016). Empirische Evaluation von Steuerungsarten für Flugroboter. In Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e. V. (Hrsg.), *Arbeit in komplexen Systemen - Digital, vernetzt, human?!* (1–6 (A.4.9)). Dortmund: GfA-Press.
- Jones, G., Berthouze, N., Bielski, R. & Julier, S. (2010). Towards a situated, multimodal interface for multiple UAV control. In *IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 2010* (S. 1739–1744). Piscataway, NJ: IEEE. doi:10.1109/ROBOT.2010.5509960
- Livingston, M. A. (2013). Issues in Human Factors Evaluations of Augmented Reality Systems. In W. Huang, L. Alem & M. A. Livingston (Hrsg.), *Human factors in augmented reality environments* (S. 3–9). New York: Springer. doi:10.1007/978-1-4614-4205-9\_1
- Mohs, C., Hurtienne, J., Israel, J. H., Naumann, A., Kindsmüller, M. C., Meyer, H. A. & Pohlmeier, A. (2006). IUUI intuitive use of user interfaces. In T. Bosenick, M. Hassenzahl, M. Müller-Prove & M. Peissner (Hrsg.), *Usability Professionals 06* (S. 130–133). Stuttgart: German Chapter der Usability Professionals Association.
- Monajjemi, M., Mohaimenianpour, S. & Vaughan, R. (2016). UAV, come to me: End-to-end, multi-scale situated HRI with an uninstrumented human and a distant UAV. In *2016 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)* (S. 4410–4417). IEEE. doi:10.1109/IROS.2016.7759649
- Nielsen, M., Störring, M., Moeslund, T. & Granum, E. (2004). A Procedure for Developing Intuitive and Ergonomic Gesture Interfaces for HCI. In A. Camurri & G. Volpe (Hrsg.), *Gesture-Based Communication in Human-Computer Interaction* (Bd. 2915, S. 409–420). Lecture Notes in Computer Science. Springer Berlin Heidelberg.
- Norman, D. A. (2010). Natural User Interfaces Are Not Natural. *interactions*, 17(3), 6–10. doi:10.1145/1744161.1744163
- Peshkova, E., Hitz, M. & Ahlström, D. (2016). Exploring User-Defined Gestures and Voice Commands to Control an Unmanned Aerial Vehicle. In R. Poppe, J.-J. Meyer, R. Veltkamp & M. Dastani (Hrsg.), *Intelligent Technologies for Interactive Entertainment* (Bd. 178, S. 47–62). Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering. Cham: Springer International Publishing und Imprint: Springer.
- Peshkova, E., Hitz, M. & Kaufmann, B. (2017). Natural Interaction Techniques for an Unmanned Aerial Vehicle System. *IEEE Pervasive Computing*, 16(1), 34–42. doi:10.1109/MPRV.2017.3

- Preim, B. & Dachsel, R. (2015). *Interaktive Systeme* (2. Aufl). eXamen.press. Berlin [u.a.]: Springer.
- Prümper, J. (1997). Der Benutzungsfragebogen ISONORM 9241/10: Ergebnisse zur Reliabilität und Validität. *Software-Ergonomie '97 – Usability Engineering: Integration von Mensch-Computer-Interaktion und Software-Entwicklung*, 253–262.
- Renkewitz, H., Kinder, V., Brandt, M. & Alexander, T. (2008). Optimal Font Size for Head-Mounted-Displays in Outdoor Applications. In E. Banissi (Hrsg.), *Proceedings of 12th International conference* (S. 503–508). Los Alamitos, Calif.: CPS, Conference Pub. Services und IEEE Computer Society. doi:10.1109/IV.2008.73
- Schmidt, L., Herrmann, R., Hegenberg, J. & Cramar, L. (2014). Evaluation einer 3-D-Gestensteuerung für einen mobilen Serviceroboter. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 68(3), 129–134.
- Thalmic Labs. (2016). Myo + Parrot 3.0. Zugriff unter <https://market.myo.com/app/559ec%22=0cee4b0f2c8982c9164/myo--parrot-30>
- Wachs, J. P., Kölsch, M., Stern, H. & Edan, Y. (2011). Vision-based hand-gesture applications. *Communications of the ACM*, 54(2), 60. doi:10.1145/1897816.1897838
- Yu, M., Lin, Y., Schmidt, D., Wang, X. & Wang, Y. (2014). Human-Robot Interaction Based on Gaze Gestures for the Drone Teleoperation. *Journal of Eye Movement Research*, 7(4). Zugriff unter <https://bop.unibe.ch/index.php/JEMR/article/view/2387>