

# AUTONOMIE IN DER GROSSLUFTFAHRT

A. Knoll, A. Weber, M. Kreuzer

Hochschule München, Lothstr. 34, 80335 München, Deutschland

## Zusammenfassung

Autonomie ist derzeit ein sehr häufig verwendeter Begriff. Zukünftige Straßenfahrzeuge sollen immer höhere Autonomie-Levels verwenden. Dies reicht derzeit von Levels, bei denen noch eine angemessene Reaktion des Fahrers auf Systemanfragen erwartet wird, bis zu zukünftigen Systemen, die unter keinen Umständen mehr ein menschliches Eingreifen erfordern sollen. Aber auch in der Luftfahrt wird der Begriff häufig verwendet. Viele Drohnen, besonders kleinere Multicopter, operieren bereits autonom und auch die vielerorts entwickelten Lufttaxis sollen zumindest nach einer Übergangsphase autonom operieren. Da stellt sich die Frage, warum denn die Autonomie in der bisherigen „Großluftfahrt“, Passagier- wie Frachtflugzeuge, nicht auch schon Einzug gehalten hat oder zumindest zukünftig einziehen wird. Die Autoren möchten deshalb versuchen, die spezifischen Probleme bei der vermehrten Anwendung von Autonomie in diesem Teil der Luftfahrt zu erläutern und einzelne Bausteine betrachten, die bei der Einführung eines höheren Autonomiegrades vorteilhaft wären.

## 1. VORBOTEN DER AUTONOMIE

Auch in der aktuellen bemannten Luftfahrt hat die Autonomie bereits Einzug gehalten. So demonstrierte Garmin 2019 erstmals sein Autoland-System [1]. Dieses System ist aktuell bereits für drei Flugzeugmuster erhältlich, weitere sind in Vorbereitung. Die Idee dahinter: Fällt in einem Kleinflugzeug der einzige Pilot aus, führt dieses Notfallsystem nach Betätigen des Notfallknopfes den weiteren Flug bis hin zur Landung selbstständig durch. Dazu ermittelt es geeignete Notlandeplätze, berücksichtigt die aktuellen Wetterbedingungen, berechnet die passenden Routen unter Verwendung des Terrains und übermittelt der Flugsicherung gleichzeitig die Absichten des Systems.

Dieses System ist nur für die Anwendung im Notfall zugelassen worden, wenn es keine andere Möglichkeit gibt, das Überleben der Insassen sicherzustellen. Es ist nicht für die Nutzung im regulären Betrieb gedacht und wird hierfür auch nicht zugelassen werden, denn die Umsetzung der regulären Anforderungen, z.B. an die Ausfallwahrscheinlichkeit der verwendeten Datenquellen und Steuerungssysteme, wäre derzeit für derartige Luftfahrzeuge zu kostspielig.

Aber auch bei Systemen, die für den regulären Betrieb zugelassen werden sollen, gibt es entsprechende Entwicklungen. Airbus hat in seinem ATTOL-Projekt (Autonomous Taxi, Take-Off and Landing) vollautomatische Starts, Landungen und Rollmanöver demonstriert, die nur auf den Informationen optischer Sensorsysteme (ohne weitere Sensoren) beruhen [2]. Dies ist ein Baustein des Wayfinderprojekts von Airbus, in dem skalier- und zulassbare Autonomiesysteme zur Anwendung im kleineren Urban Air Vehicle bis zum großen Verkehrsflugzeug entwickelt werden sollen.

## 2. ZIELE DER AUTONOMIE

Der menschliche Pilot ist derzeit autonomen Systemen in verschiedener Hinsicht überlegen. Dies wird auch noch länger der Fall sein. Trotzdem weisen Unfallstatistiken regelmäßig einen hohen Anteil von Flugunfällen aus, in deren Verlauf die Besatzung ein Teil der Fehlerkette war, anstatt diese zu verhindern. So lässt eine erste übersichtsmäßige Auswertung der Flugvor- und Flugunfälle in 2019 [3] bei insgesamt 74 Ereignissen eine Beteiligung der Flugbesatzung in mindestens 19 Fällen wahrscheinlich erscheinen. Allerdings stehen die genauen Unfalluntersuchungen meist noch aus.

Was die Unfallstatistiken aber nicht ausweisen ist die Anzahl potentieller Unfälle, bei denen die Fehlerkette durch den menschlichen Piloten durchbrochen wurde und ein Unfall erst durch den Piloten verhindert wurde. Zusammenfassend ist es schwierig den Einfluss der Besatzung auf die gesamte Flugsicherheit zu beurteilen. Es ist aber sicher von Vorteil zu versuchen, die speziellen Fähigkeiten, welche die menschliche Besatzung aufweist, auch in Systemen mit zunehmender Autonomie mehr und mehr abzubilden. Die tägliche Praxis im Betrieb von teilautonomen Flugsystemen zeigt: es muss jederzeit mit einer Unterbrechung der Funkverbindung und damit dem Verlust der direkten Kontrolle über das Fluggerät gerechnet werden. In diesem Fall muss das System imstande sein, zumindest für einen begrenzten Zeitraum vollkommen autonom zu handeln.

Die zunehmende Autonomie in der Großluftfahrt wird sicher nicht schlagartig kommen, vielmehr werden immer mehr Bausteine, wie Assistenzsysteme etc. eingeführt, die dann mittelfristig in einer Reduktion der Besatzung und langfristig in einem autonomen System münden. Solange es aber ein Nebeneinander von Menschen und autonomen Systemen geben wird, bietet es sich an, jedem

der beiden Partner die Aufgaben zu überlassen, die er am besten beherrscht.

Welche Fähigkeiten hat der Mensch, die in aktuellen autonomen Systemen nicht abgebildet werden? Der Mensch kombiniert die Wahrnehmungen unterschiedlichster Sensoren (z.B. Sicht, Beschleunigung, Fühlen, Geruch, Temperaturwahrnehmung) mit systemübergreifendem Denken. Er kann größere, komplexe Zusammenhänge verstehen. Er hat die Fähigkeit mit Nicht-Routine-Situationen umzugehen und die Möglichkeit neue, innovative Lösungsansätze zu finden. Technische Umsetzungen sind dagegen aktuell meist auf Teilaspekte beschränkt. Aber auch beim Menschen können diese Fähigkeiten speziell unter Stress stark eingeschränkt werden. Hier versucht man, über geeignetes Training das Gehirn auf eine schnelle Abrufbarkeit von vorgedachten Lösungsansätzen vorzubereiten [4].

Es gibt aber auch Aufgaben, die eindeutig nicht zu den Stärken des Menschen zählen, z.B. über längere Zeit hinweg eintönige Aufgaben zu erledigen, z.B. die Überwachung von Grenzwerten. Dementsprechend bietet es sich an, die Aufgaben zwischen Mensch und System aufzuteilen. Ein klassisches Beispiel hierfür ist der Autopilot, der den Piloten von Routinearbeiten entlastet und ihm somit mehr geistige Ressourcen für das Gesamtverständnis der aktuellen Situation zur Verfügung stellt.

Unter diesem Aspekt kann eine zunehmende Automatisierung/Autonomisierung sicher zu einer Erhöhung der Flugsicherheit beitragen. Es zeigt sich aber auch, dass für einen tatsächlichen Übergang zu autonomen Flugzeugen ein vordringliches Ziel der Forschung sein muss, diese speziellen Fähigkeiten des Menschen auf Systeme soweit als möglich zu übertragen. Von der vollständigen Übertragung dieser Fähigkeiten sind wir allerdings noch sehr weit entfernt, aber zumindest in ausgewählten Teilbereichen könnte dies möglich sein.

Welche weiteren Vorteile werden autonome Systeme mit sich bringen? Vor der Corona-Krise wurde häufig eine bevorstehende Pilotenknappheit angeführt. Durch die drastischen Abnahmen des Luftverkehrs ist aktuell das Gegenteil der Fall. Trotzdem wird der Luftverkehr auf Mittel- und Langstrecken auf lange Sicht wahrscheinlich zunehmen. Dies gilt sowohl für den Passagier-, als auch für den Frachtverkehr. Der Einsatz von menschlichen Piloten ist aber schon alleine durch Einflüsse wie Zeitonenwechsel, Tageszeiten etc. und die entsprechenden Dienstzeitregelungen, die versuchen diese Einflüsse zu berücksichtigen, eingeschränkt. Wirtschaftliche Gesichtspunkte lassen hier deshalb z.B. im Bereich der Frachtfliegerei den Wunsch nach autonomen Flugzeugen aufkommen.

Ein sehr großes Potential zur Verbesserung der Nachhaltigkeit des Luftverkehrs steckt in einer Verbesserung der Flugführung. Dies adressieren auch in den beiden großen Zukunftsprogrammen NextGen in USA und SESAR in Europa [5]. Aktuelle Routenführungen sind häufig nicht optimal und führen zu unnötigen Schadstoffemissionen. Eine 4-D Flugführung (inkl. Überflugzeiten) auf optimalen Routen in einem optimal koordinierten Luftverkehr könnte hier sicher viel beitragen.

Eine Umsetzung dieser 4-D Flugführung benötigt aber zumindest die Unterstützung von intelligenteren Systemen, denn die Pünktlichkeit zählt nicht zu den Kernfähigkeiten des Menschen.

### 3. ZENTRALES SYSTEM-MONITORING

Wie bereits erwähnt, hat der Mensch eine Reihe von Fähigkeiten, die sehr vorteilhaft für Flugzeuge mit zunehmender Autonomie sind und deshalb in technische Systeme übertragen werden sollten.

Zu diesen Vorteilen zählt die Fähigkeit „ein Gefühl“ für das Verhalten eines Flugzeugs zu erlernen. Der Mensch hat nach einer Phase des Erlernens ein Modell gespeichert, welches das Zusammenspiel der einzelnen Flugzeugkomponenten beschreibt. Wenn z.B. bei bestimmten Jets im Sinkflug mit Idle-Schub das Anti-Icing System eingeschaltet wird, so kann dies u.U. dazu führen, dass aufgrund des geringen Bleedair-Druckes zunächst nicht genügend Druck für das Anti-Icing zur Verfügung steht, so dass zeitweise eine entsprechende Warnung auftritt. Würde hingegen die gleiche Warnung im Steigflug bei hoher Triebwerksleistung ansprechen, so würde dies mit höherer Wahrscheinlichkeit auf einen tatsächlichen Defekt hindeuten. Mit Erfahrung und der Fähigkeit, die potentiell irreführende Einzelinformation des Warnsystems im Gesamtkontext einzuordnen und korrekt zu interpretieren, kann der menschliche Pilot diese Situationen unterscheiden und bewältigen. Mit anderen Worten, der Mensch verinnerlicht aus seiner Erfahrung heraus ein physikalisches Modell des Gesamtsystems, das sich weniger an numerischen Limits manifestiert, als vielmehr an relativen Zusammenhängen der Informationen im Gesamtkontext.

Verhält sich das Gesamtsystem Flugzeug konform zu diesem abgespeicherten Modell, so erfordert dies keine besondere Aufmerksamkeit. Widerspricht das Verhalten aber dem abgespeicherten Modellverhalten, das den Zustand des gesamten Flugzeugs inklusive der Umgebungsbedingungen beinhaltet, so kann dies ein Indiz für einen Fehler sein. Die Aufmerksamkeit des Piloten ist geweckt. Er wird dann versuchen anhand anderer Parameter seine Ausfall-Hypothese zu verifizieren.

Der Unterschied zwischen diesem menschlichen Verhalten und typischen Überwachungsalgorithmen liegt darin, dass beim Menschen das Zusammenspiel aller Komponenten, wie auch der Umgebungsbedingungen betrachtet werden und nicht, wie oft bei Überwachungsalgorithmen, nur der Zustand des Einzelsystems.

Das menschliche Verhalten ist auch imstande intermittierende Ausfälle oder Teilausfälle von Systemen zu beurteilen bzw. Zusammenhänge herzustellen, während dies für numerisch basierte Monitorprogramme wesentlich schwieriger ist. Oftmals sind keine Schwarz-Weiß Entscheidungen möglich, trotzdem behält der Mensch aufgetretene „Fehler“ bei der weiteren Flugdurchführung „im Hinterkopf“.

Zusammenfassend wäre also ein zentrales Monitoring-system vorteilhaft, das sich nicht nur auf numerische Limits oder Einzelkomponenten beschränkt, sondern das

stattdessen das Zusammenspiel aller Einflussfaktoren im Flugzeug und auch außerhalb (Meteorologie, anderen Luftverkehr, Einschränkungen an Flugplätzen etc.) berücksichtigt. Damit wären eine vorausschauende Problemerkennung und eine darauf basierende Analyse des Gesamtzustandes möglich. Das wiederum würde dann ein angepasstes Reagieren deutlich erleichtern.

#### 4. ENTSCHEIDUNGEN BEI KOMPLEXEM SYSTEMVERHALTEN

Moderne Großflugzeuge sind durch immer intelligentere Teilsysteme gekennzeichnet. Entscheidungen über den Einsatz derartiger Teilsysteme sind immer weniger digitale Entscheidungen („On or Off“), sondern die intelligenten Teilsysteme wechseln zustandsabhängig in verschiedene Modi. Entscheidungen über die Verwendung dieser Systeme müssen über mehrere Stufen hinweg getroffen werden: „Was passiert in einem oder mehreren Systemen, wenn z.B. in System 1 eine fehlerhafte Sensorquelle weggeschaltet wird? Welche negativen Einflüsse kann dies im Verlauf der gesamten Mission haben?“ Dabei ist eine detaillierte Kenntnis des Gesamtsystems und anderer Zusammenhänge, wie z.B. Luftraumgliederung, Meteorologie und Infrastruktur erforderlich.

Dieses langfristige „Denken“ unterscheidet sich wesentlich von kurzfristigen Entscheidungen z.B. bei der Autonomie in Straßenfahrzeugen. Während im Straßenfahrzeug die Entscheidung in Sekundenbruchteilen getroffen werden muss, kann dort der kritische Zustand aber auch in vielen Fällen relativ kurzfristig über ein sogenanntes sicheres Manöver beendet werden. Bei einem großen Luftfahrzeug über dem Atlantik ist die verfügbare Zeitspanne bis zur Entscheidung meist deutlich länger, dafür müssen aber weit mehr Konsequenzen und Einflussfaktoren berücksichtigt werden.

Zunehmende Autonomie in der Großluftfahrt lässt sich also auf Dauer nicht durch einzelne, unabhängige Assistenzsysteme erzielen, sondern es ist, wie bereits erwähnt, eine zentrale Intelligenz nötig, die auf alle untergeordneten Systeme Zugriff hat. Es muss also intelligente Teilsysteme, ein intelligentes Monitoringsystem auf Gesamtebene und über das Gesamtsystem hinaus geben (Umgebungsbedingungen etc.) und es muss eine zentrale Entscheidungs-Intelligenz geben, die „den Überblick behält“.

Dabei unterteilen sich die Aufgaben dieser zentralen Intelligenz unter anderem in einfache Routineaufgaben bzw. auch Notfälle, die „nach Checkliste abzuarbeiten“ sind. Diese Aufgaben müssen oftmals sehr schnell abgearbeitet werden. Diese Fähigkeiten sind mit den bisherigen Kenntnissen relativ leicht umzusetzen. Daneben gibt es aber auch die Notwendigkeit, komplexere Abläufe zu erkennen bzw. Zusammenhänge herzustellen, z.B. infolge von Beschädigungen, die bisher so nicht bekannt waren. Diese Aufgabenbeschreibung ähnelt stark der Fähigkeit des Menschen seine rare Aufmerksamkeit möglichst gut aufzuteilen. Auf Rechner übersetzt bedeutet dies, die verfügbare Rechenzeit optimal auszunutzen.

Ein möglicher Ansatz entspräche dem, den Kahneman für das menschliche Denken beschreibt [4], nachfolgend etwas ergänzt:

##### System 1 „Schnelles System“

- klassifiziert Probleme anhand abgespeicherter Fälle.
- Standardaufgaben: Automatismen, z. B. Autopilotenfähigkeiten, werden von System 1 ausgeführt.
- schnelle, vorgedachte Lösungen.
- überprüft, ob Aktionen von System 2 erforderlich sind.
- System 1 nutzt nur Sensoren mit bekanntem Zusammenhang zum betroffenen System (bekanntes Systemwissen): z. B. beim Triebwerk: Fuel Flow, Vibrationen, Temperaturen etc.

##### System 2 „Langsames System“

- analysiert die Nicht-Standard-Situationen.
- überprüft, ob die Problemlösung durch System 1 ausreichend ist.
- entwickelt komplexe oder neuartige Lösungsstrategien.

Wesentlich ist dabei auch, dass einmal getroffene Entscheidungen über einen längeren Zeitraum hinweg, in diesem Fall die verbleibende Flugdauer, immer wieder neu hinterfragt werden müssen. Hierfür bietet sich ein Entscheidungsmodell an, entsprechend dem, das Piloten bei der üblichen FORDEC-Analyse [6] verwenden:

- Facts
- Options
- Risks & Benefits
- Decision
- Execution
- Check: Ist die angewandte Vorgehensweise immer noch die geeignetste Vorgehensweise?

Dies bedeutet, dass FORDEC automatisiert in einer Dauerschleife durchgeführt werden muss.

#### 5. ANGEPASSTES LERNVERHALTEN

Ziel des gesamten Vorgehens ist es, ein resilientes Verhalten zu ermöglichen. Darunter soll hier verstanden werden, dass das Gesamtverhalten nicht nur robust gegen äußere Einflüsse ist, sondern imstande ist, wenn erforderlich, mit neuen angepassten Strategien auf Herausforderungen zu antworten.

Es ist unmöglich alle Situationen, mit denen das Flugzeug im Laufe seiner Einsatzzeit konfrontiert sein wird, vorherzusehen. Das autonome System muss also selbstständig eine Lösungsstrategie für neue Probleme entwickeln können. Resilientes Verhalten setzt u.a. zwei Fähigkeiten voraus:

##### 1) Analyse der aktuellen Situation:

Hier sind der zuvor beschriebene Gesamtmonitor sowie das Entscheidungssystem erforderlich, um Einzelinformationen zu kombinieren und daraus eine zutreffende Analyse zu entwickeln.

##### 2) Entwicklung von angepassten Strategien zur Situationsbehandlung:

Die Entwicklung einer geeigneten Strategie erfordert die Fähigkeit, aus den aktuellen Zusammenhängen, die vom üblichen Verhalten abweichen können, zu lernen und die zukünftige Entwicklung vorauszusehen. So könnte z.B. eine Ruderfläche, die unkontrollierbar geworden ist, andere Reaktionen hervorrufen, als dies normalerweise der Fall ist. Lernfähigkeit führt von der Robustheit hin zur Resilienz, also weg vom passiven Grenzbereich hin zur aktiven Anpassung nach Überschreiten der bekannten Systemgrenzen.

Die Fähigkeit zum Lernen stellt aber ein wesentliches Zulassungshindernis dar, denn eine Grundannahme bei Zulassungsvorschriften ist oft, dass sich das System unter vorgegebenen Bedingungen immer gleich und damit vorhersehbar verhält. Dadurch ist eine Überprüfung dieser Verhaltensweise repräsentativ für derartige Zustände und somit ein Nachweis der Sicherheit möglich. Ein lernendes System hingegen kann sich u.U. in der gleichen Situation unterschiedlich verhalten, je nachdem, was es in der vorausgehenden Historie gelernt hat. Ohne die Kenntnis der vorausgehenden Historie, z.B. während dieses Fluges, kann das Verhalten nicht vorhergesagt werden.

Wenn somit eine Zulassung möglich sein soll, so kann dies z.B. dadurch geschehen, dass Grenzwerte für das erlernte Verhalten vorgegeben sind. Das erlernte Verhalten kann also nur innerhalb dieser Grenzen variieren. Adaptive Regler könnten z.B. hier eingeordnet werden. Wenn das erlernte Verhalten über die Fähigkeiten eines „einfachen Reglers“ aber hinausgeht und das Verhalten unterschiedlicher Systeme, evtl. sogar des gesamten Flugzeugs beinhaltet, so wird die Nachweisführung sehr schwierig. Eventuell sind die „Worst Case“-Kombinationen auch nicht a priori festzulegen. In diesem Fall verbleibt nur eine statistische Nachweisführung, die versucht anhand einer sehr großen Anzahl von Simulationen den kritischen Fall mit abzudecken. Ähnlich ist dies derzeit bei der Zulassung von Autopiloten für vollautomatische Landungen, wo versucht wird über eine sehr große Anzahl von Simulationsläufen auch die ungünstigsten Kombinationen einer Vielzahl von Parametern abzudecken.

## 6. UMSETZUNG DES LERNVERHALTENS

Diese Lernfähigkeit wird heute oftmals über sogenannte Neuronale Netze hergestellt. Allerdings haben diese einen wesentlichen Nachteil: Das gelernte Wissen ist nicht explizit auszulesen. Somit ist das Verhalten des Systems für den Beobachter nicht vorherzusehen. Dies verhindert eine Zulassung, welche ein nachweisbares, reproduzierbares Verhalten erfordert. Zudem ist eine Beschränkung des Lernverhaltens mit diesem Ansatz nicht möglich.

Wie oben beschrieben wäre eine Voraussetzung zur Zulassung, dass die Lernfähigkeit zu begrenzen ist. Dabei wären zwei Anwendungsfälle zu unterscheiden:

1) Das Erlernen des Systemverhaltens während des normalen Betriebs:

Hierfür wäre ein für den Menschen auslesbares Lernverhalten anzustreben. D.h. über die Betriebsdauer einer ganzen Flotte können Trends anhand der Lernfähigkeit nach den Flügen erkannt werden und danach, falls sinnvoll, die Grenzen des erlaubten Lernbereichs der Flotte evtl. erweitert werden bzw. erlerntes Verhalten auf die anderen Flugzeuge der Flotte übertragen werden.

2) Bei Notfällen hingegen ist dieses Verhalten nicht geeignet:

Hier muss die Annahme getroffen werden, dass die zulässigen Grenzen der Lernfähigkeit bereits ausreichend weit gesteckt sind.

Welche Lernverfahren erscheinen hierfür geeignet? Den Autoren erscheinen zwei verschiedene Verfahren als aussichtsreiche Kandidaten:

### 1. Das Statistical Relational Learning

Aus dem Zeitverlauf heraus werden Zusammenhänge hoher Wahrscheinlichkeit festgestellt. Damit wäre eine Begrenzung der Lernfähigkeit zu realisieren, da letztlich ein Satz an Einflussparametern vorgegeben werden kann. Der Nachteil dieses Verfahrens für Notfalleanwendungen liegt darin, dass eine Historie erforderlich ist. Diese begrenzt die Aussagefähigkeit bei der kurzfristigen Anwendung auf eine neue Situation.

### 2. Die symbolische Reglerauslegung

Dieses Verfahren ermöglicht es, bei einer mathematischen Formulierung der Zusammenhänge einen optimalen Regler automatisch, d.h. ohne jegliches Zutun des Menschen, zu bestimmen. Allerdings liegt im Notfall eine mathematische Formulierung der Zusammenhänge nicht vor, da diese evtl. unbekannt sind.

Eine Kombination beider Verfahren könnte vielleicht eine Lösungsmöglichkeit bieten:

Auf der Grundlage von allgemeinem Domänenwissen (Flugphysik, regulatorische Voraussetzungen, Standard-situationen, z.B. Kollisionsvermeidung) werden zunächst mehrere diametral unterschiedliche Hypothesen über die kontextuellen Zusammenhänge der vorliegenden Situation erstellt. Hierzu werden alle vorgegebenen, potentiellen Einflussparameter berücksichtigt. Zusätzlich wird noch ein Potential für unbekannte Einflüsse eingeführt. Anhand des Statistical Relational Learning werden die erstellten Hypothesen analysiert und diejenigen identifiziert, die die aktuelle Situation mit der höchsten Wahrscheinlichkeit abbilden. Für jede dieser Hypothesen wird mittels symbolischer Reglerauslegung ein geeigneter Regler/eine geeignete Strategie entwickelt. Die optimale Lösungsstrategie wird angewandt und aufgrund der Reaktionen von System und Umgebung im Sinne eines „FORDEC“ permanent bewertet. Ergeben sich im weiteren Verlauf der Situation neue Zusammenhänge, die durch die gewählte Strategie nicht mehr abgedeckt werden, so werden erneut Hypothesen erstellt und damit im Bedarfsfall der Regler bzw. die Strategie angepasst.

## 7. MENSCH-MASCHINE-SCHNITTSTELLE

Selbst vollkommen autonome Flugzeuge benötigen eine Schnittstelle zum Menschen, denn nur so können dem Menschen die Absichten des autonomen Systems mitgeteilt werden. Dies gilt nicht nur für Überwachungsstationen am Boden, sondern auch für andere, teilweise bemannte Luftverkehrsteilnehmer. Diese Schnittstellen, besonders die zu Bodenstationen, werden sich deutlich von den heutigen unterscheiden, denn es reicht bei Notfällen nicht aus, nur Flugparameter zu kommunizieren, vielmehr müssen auch Informationen über die angewandte Strategie und die daraus resultierenden Absichten kommuniziert werden. Die Schwierigkeit liegt hier darin, komplexe Entscheidungsvorgänge der Maschine und deren Folgerungen dem Menschen nachvollziehbar zu machen bzw. dem Menschen auch zu ermöglichen, das weitere Verhalten der Maschine vorherzusehen.

Die Ausführungen zeigen, dass der Mensch noch eine Reihe an systemübergreifenden Fähigkeiten mitbringt, von denen es sich lohnt sie zu berücksichtigen, wenn ein vergleichbarer Flugbetrieb teilautonom oder autonom durchgeführt werden soll. Hier besteht noch ein großer Forschungs- und Entwicklungsbedarf.

## 8. FAZIT

Ein sicherer Flugbetrieb setzt eine Reihe an Komponenten voraus, u.a. eine sichere Entwicklung, eine verantwortungsvolle Zulassung, eine entsprechende Wartung und einen verantwortungsbewussten Einsatz. All diese Elemente müssen zusätzlich vom Entwicklungsbeginn bis zum Ende der Betriebsdauer ständig dazulernen.

Die Zulassung deckt immer nur einen kleinen Teil der technischen Voraussetzungen ab. Lufttüchtigkeitsanweisungen (Airworthiness Directives, Safety Bulletins u.ä.), die während der Betriebsdauer veröffentlicht werden, zeigen nach Meinung der Autoren oftmals auch, was zum Zeitpunkt der Zulassung nicht bekannt war oder übersehen wurde. Ähnlich ist es bei den Betriebsanweisungen, den sogenannten Standard Operating Procedures, denn auch diese decken nur die Vorfälle ab, welche sich die Entwickler entweder im Vorfeld überlegt hatten oder die bereits aufgetreten sind. Deshalb müssen auch diese SOPs ständig dem Stand der Erfahrung angepasst werden.

Junge Copiloten beherrschen häufig alle SOP's besser auswendig, als ältere Kapitäne. Trotzdem übergibt man die Verantwortung nicht den jungen Copiloten, sondern den älteren Kapitänen von denen man erwartet, dass sie sich zwar an die SOPs halten, dass sie aber auch darüber hinaus denken können und dadurch auch Fälle erkennen, die bisher nicht oder nicht richtig abgedeckt sind und entsprechend handeln. Diese Handlungsweise aber war zum Zeitpunkt der Zulassung niemandem bekannt, denn sonst wäre sie in den SOPs berücksichtigt worden.

Das bedeutet aber auch, dass eine entsprechende Lernfähigkeit des Systems, selbst wenn sie zum Zeitpunkt der Erstzulassung noch nicht feststeht, im Sinne eines sicheren Flugbetriebs zulassbar sein muss.

## LITERATUR

- [1] <https://www.garmin.com/en-US/autonomi/> (aufgerufen am 25.08.2020)
- [2] <https://www.airbus.com/newsroom/stories/autonomy-aerial-mobility.html> (aufgerufen am 25.08.2020)
- [3] Accidents and Incidents 2019 in Flight International, 21-27 January 2020, p.20-36.
- [4] Daniel Kahneman, Schnelles Denken, langsames Denken, Pantheon Ausgabe Februar 2014.
- [5] SESAR Joint Undertaking / Federal Aviation Administration, NextGen – SESAR State of Harmonisation, Publications Office of the European Union, 2016.
- [6] Hörmann H. J. (1995). FOR-DEC. A prescriptive model for aeronautical decision-making. In R. Fuller, N. Johnston, N. McDonald (Eds.), Human factors in aviation operations. Proceedings of the 21st Conference of the European Association for Aviation psychology (EAAP), Vol. 3 (pp. 17-23). Aldershot Hampshire: Avebury Aviation..

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung