FHP-Info

Aktuelle Kurzberichte

Gerhard Faber FHP

Menschliche versus Künstliche Intelligenz im Cockpit
Lernen Roboter das Fliegen?
Autonome Verkehrssysteme – Versuch einer Energiebilanz

Künstliche Intelligenz (KI) ist momentan ein vieldiskutiertes Thema in Medien, Forschung und Politik. Seit Mitte der 50er Jahre gab es schon mehrfach diesen Hype um KI. Die tatsächlichen Veränderungen blieben bisher weit hinter den Ankündigungen und Befürchtungen zurück.

Der Begriff Künstliche Intelligenz (KI), auch bekannt als Artificial Intelligence (AI), wird dem Logiker und Informatiker John McCarthy zugeschrieben. Er war ein Teilnehmer an der Dartmouth Konferenz im Sommer 1956, wo Mathematiker, Informations-Theoretiker, Kybernetiker, Elektro-Ingenieure, Psychologen und Ökonomen versuchten, Lernen und Merkmale der Intelligenz so genau zu beschreiben, dass eine Maschine gebaut werden könnte, die diese Vorgänge simuliert.

Zu einem konkreten Ergebnis führte die Dartmouth Konferenz nicht, sie scheiterte unter anderem an den Schwierigkeiten, Intelligenz und Lernen ausreichend genau zu definieren.

Die Definitionen von AI und KI sind m. E. nicht identisch, AI und KI sollte nicht synonym verwendet werden. Im deutschen Sprachraum wird Intelligenz in Verbindung gebracht mit Kreativität, etwas Neues entdecken, analytisch denken, etwas Bekanntes alternativ anzuwenden, Problemlösungs-strategien entwickeln, um nur einige Aspekte zu nennen. Im angelsächsischen Sprachraum hingegen wird AI auch im Sinn von Ermitteln, Eruieren, Herausfinden verstanden (vgl. CIA). Eine Definition mit breiter Akzeptanz ist in unserem Sprachraum nicht zu finden. Man unterscheidet zwischen mathematischer, sprachlicher, technischer, musischer, sozialer und emotionaler Intelligenz. Auch wird zwischen schwacher und starker AI / KI unterschieden. Bei Flugzeugen mit schwacher AI, mit Assistenzsystemen, werden die Piloten unterstützt, hier handelt es sich um teilautonomes Fliegen, die Piloten behalten die Entscheidungsgewalt. Autonome Flugzeuge hingegen benötigen starke KI mit zahlreiche Governancesystemen, die die Flugführung vollständig übernehmen, Piloten sind nicht erforderlich.

Als Definitionshilfe von AI wird häufig der Turing Test bemüht, der von dem Mathematiker Alan Turing 1950 erdacht wurde. Danach gilt eine Maschine bzw. ein elektronisches System als intelligent, wenn ein Mensch nach intensivem Befragen einer solchen Black Box nicht sagen kann, ob er mit einem Menschen oder einem Computer gesprochen hat. Bisher hat die Maschine den Test noch nicht zu ihren Gunsten entscheiden können.

Allerdings wurden durch AI viele Grundsteine für zukünftige Entwicklungen gelegt. Auch der Name AI – obwohl von allen Teilnehmern der Konferenz als nicht optimal bewertet – hat sich bis heute gehalten. Experten bevorzugen heute den Ausdruck „Maschinelles Lernen“ – aber KI bzw. AI ist für die Medien griffiger.

Momentan sind es Hochleistungsprozessoren, neuronale Netzwerke und die Vernetzung über das Internet, welche erneut die Befürworter und Gegner von KI auf den Plan rufen. Ob es jemals gelingen wird, den besten „Rechner“ dieser Erde, unser Gehirn, nachzubauen, zu modellieren, bleibt fraglich. Vergleicht man die noch immer recht holprigen Bewegungen derzeitiger Roboter mit der filigranen Feinmotorik einer Balletttänzerin oder eines Pianisten, dann erhält man eine Vorstellung, wie weit die Motorik AI-gesteuerter Roboter noch von der des Menschen entfernt ist.

Die Bundesregierung hat im November 2018 ein Strategiepapier Künstliche Intelligenz veröffentlicht www.ki-strategie-deutschland.de. Man hofft auf eine KI-Spitzenposition Deutschlands als einer von innovativer Technik geprägten Industrienation. Im Jahr 2019 wurden für die Umsetzung 500 Millionen € bewilligt und bis 2025 werden weitere 3 Milliarden € bereitgestellt.

Momentan gibt es in der Luftfahrt sehr optimistische Ankündigungen verschiedener Hersteller und Betreiber von Fluggeräten zum autonomen Fliegen, Flugführung durch AI anstatt menschlicher Intelligenz, also Piloten.

Wird sich durch AI (bzw. Maschinelles Lernen) die Verkehrsluftfahrt signifikant ändern? Wenn ja, wie wird sich dies auf den Betrieb zukünftiger Verkehrsflugzeuge auswirken?

Autonomes Fliegen: Ungeklärte Schlüsselfragen, die vor einer möglichen Einführung zu beantworten sind:

1. ***Artificial Intelligence:*** Stand der Forschung und Entwicklung? Wie intelligent ist die künstliche Intelligenz? Ist der derzeitige AI-Entwicklungsstand für autonome Flüge hinreichend? Können lernende Maschinen kreativ sein oder sind sie determiniert?
2. ***Zuverlässigkeit:*** Sind IT-Safety and Security von Hard- und Software ausreichend, wie steht es um die Redundanz?
3. ***Sicherheit:*** Kann mit autonomen Verkehrsflugzeugen die derzeitige Sicherheit von 10E-6 erreicht werden?
4. ***Verantwortung:*** Wer ist verantwortlich, die Operatoren am Boden, die Programmierer, der Rechner, die Entwickler und Hersteller, die Flugsicherung oder die Fluggesellschaft?
5. ***Akzeptanz?*** Werden Passagiere autonome Verkehrsflugzeuge akzeptieren?
6. ***Kosten:*** Einsparungen? Ist autonomes Fliegen kostengünstiger?
7. ***IT-Elektroenergieaufwand (EE)?*** Wie steht es um die EE-Kosten autonomer Flugzeuge, wie um die ökologische Bilanz?

Zur Beantwortung dieser Fragen helfen keine Ideologien, sondern Forschung und Entwicklung, die wissenschaftlich überprüfbare Aussagen generieren. Vor einem möglichen Linieneinsatz autonomer Verkehrsflugzeuge müssen die vorstehend genannten Aspekte/Fragen geklärt werden.

Im nachfolgenden Beitrag wird ausschließlich die Frage des IT-Bedarfs an elektrischer Energie (EE) behandelt, ein Aspekt, der bisher kaum beachtet wurde!

Der physikalisch falsche aber verbreitete Begriff „Stromverbrauch“ wird nicht verwendet. Richtig ist Elektrischer Energiebedarf (EE), physikalisch korrekt Elektrische Leistung (P(ower), gemessen in Watt oder Kilowatt) und Elektrische Arbeit (W(ork) oder Energie, gemessen in Wh oder kWh).

Bisher ist m. E. vielen, die sich zum Thema Autonome Verkehrssysteme äußern, unklar, welche IT-energetischen Herausforderungen diese geplante Autonomie auslöst. Zunächst soll diskutiert werden, wie hoch der Bedarf an elektrischer Energie der IT-Technik im allgemeinen tatsächlich ist, darüber gibt es hinreichend Daten.

Der elektrische Energiebedarf (EE) von IT-Systemen besteht aus zwei Bereichen:

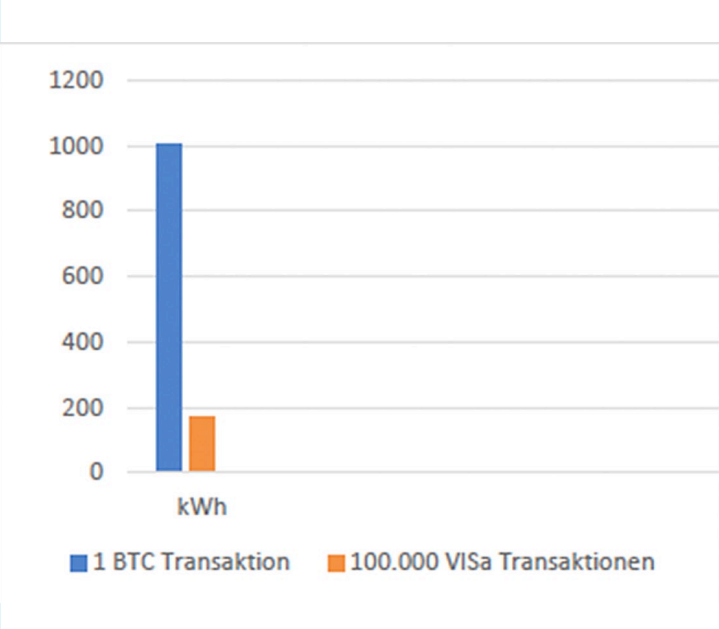
1. Die Energieaufnahme der Endgeräte, mit denen gearbeitet wird, also der Avionik-Systeme im Flugzeug oder der KFZ-Elektronik, die direkt aus dem Bordnetz oder aus Akkumulatoren versorgt werden. Diese elektrische Leistung kann z. B. mit einem Leistungsmesser, einem Watt- oder Kilowattmesser, leicht ermittelt werden. Der häusliche Zähler ermittelt die elektrische Arbeit, also die Leistung multipliziert mit der Zeit. $W = P \cdot t$.

2. Die benötigte EE „hinter den Kulissen“, also des indirekten EE-Bedarfs. Diese zu ermitteln ist sehr viel schwieriger, da diese Daten für den Endverbraucher nicht zugänglich sind. – Was ist damit gemeint? Jede sog. Online-Aktion, z. B. eine Suchanfrage bei Google oder Wikipedia, das Versenden einer Email, das Herunterladen eines Podcast, eines Videoclips, (z. B. Streaming) löst erhebliche Rechneraktivitäten in Rechenzentren aus, von denen wir im Normalbetrieb nichts bemerken, da sie für uns verborgen in Servern stattfinden. Musik live aus dem Internet z. B. über Spotify oder mehr noch Video-Streaming, z. B. das Anschauen von Videos über Netflix, YouTube, Videokonferenzen via Skype, erfordern erhebliche E-Energie. Je nach Speicherort können zahlreiche Rechenzentren irgendwo auf diesem Globus daran beteiligt sein.

Dazu einige Daten und Fakten:

- Die Relation zwischen direktem und indirektem EE-Bedarf beträgt etwa 1:2. Hier handelt es sich um eine Schätzung des Durchschnittswertes, von dem je nach Art der IT-Aktivität erhebliche Abweichungen nach oben möglich sind.
- Jedes autonome Auto generiert Daten von durchschnittlich 4 TB/Tag $\triangleq$ Daten von 3000 Menschen (IT-Nutzern)
- Eine Million autonome KFZ erzeugen bzw. verarbeiten so viele Daten wie ca. 3 Milliarden Menschen.
- Ein durchschnittliches Rechenzentrum hat einen Elektro-Energiebedarf einer Stadt von ca. 30.000 Einwohnern.

- Rechenzentren in Frankfurt/Main haben mehr EE-Bedarf als der gesamte Flughafen FRAPORT mit 18,85% des EE-Bedarfs der Großstadt. Die Rechenzentren Frankfurts (z. B. Equinix, E-Shelter, Interxion, Telehouse etc.) benötigen 19,42 % des gesamten EE-Bedarfs Frankfurts mit steigender Tendenz.
- Equinix (F-Gutleutstraße, 370 Beschäftigte): Größter Kostenblock der Bruttowertschöpfung mit 40 % sind die E-Energiekosten!.
- Telehouse (F-Kleyerstraße) hat gleichen E-Energiebedarf wie Dreieich mit ca. 40.000 Einwohnern.
- Energiebedarf der IT-Branche beträgt 7–8 % des weltweiten EE-Bedarfs mit steigender Tendenz.
- Der EE-Bedarf in Deutschland für Rechenzentren, Clouds etc. beträgt ca. 57 TWh ≙ 10 Kraftwerken. – In CO_2 Äquivalente umgerechnet, entspricht das dem gesamten deutschen Flugverkehr.
- Nach Schätzungen des E-Energieerzeugers E-On werden allein durch Streaming-Plattformen und Videokonferenzen weltweit ca. 200 Milliarden kWh pro Jahr umgesetzt, etwa so viel wie die Privathaushalte Deutschlands, Polens und Italiens zusammen benötigen.
- Die Rechenleistung heutiger PC, verglichen mit denen der 70/80er Jahre ist 3.000.000 mal größer.
- Würde man einen Computer mit der Rechenleistung eines heutigen PC oder Laptop in der Zuse- oder Nixdorf-Technik von vor ca. 70 Jahren bauen (diskreter Aufbau mit Relais, Röhren und einzelnen Transistoren), wäre zum Betrieb ein kleineres Kraftwerk (ca. 500 MW) erforderlich.
- Den größten IT-E-Energieanteil einschließlich Kühlung benötigen Rechenzentren.
- 200 Internetsuchanfragen ≙ dem EE-Bedarf zum elektrischen Bügeln eines Hemdes.
- Google und seine Dienste, wie Maps, YouTube oder Drive verbrauchen rund 5,7 Terawattstunden pro Jahr. Das ist ungefähr so viel, wie San Francisco pro Jahr verbraucht.
- Eine Transaktion der Kryptowährung BitCoin ≙ EE-Bedarf eines Kühlschranks für 8 Monate.
- Mit der Abwärme eines Rechenzentrums könnten ca. 1500 Wohnungen geheizt werden.
- Und noch etwas unglaubliches: „Evan Mills, ein Wissenschaftler am Lawrence Berkeley National Laboratory, hat errechnet, dass die Produktion von legalem Marihuana in den USA 1 % der gesamten Elektrizität des Landes oder 41,71 Milliarden kWh an Strom verbraucht mit Kosten, die sich auf 6 Milliarden Dollar belaufen. Das ist genug Strom, um damit 3,8 Millionen Haushalte oder den gesamten Bundesstaat Georgia zu versorgen“.
- Der „Datenhunger“ wird permanent größer, gegenwärtig wird mit einer jährlichen Wachstumsrate von 10 % gerechnet“.



Eine Betrachtung des EE-Bedarfs der Kryptowährung BitCoin weltweit:

Die Verwaltung dieser Kryptowährung (Block Chain) ist extrem energieaufwendig. Da bei jeder Transaktion jeder Teilnehmer dieser Währung weltweit elektronisch einbezogen wird, werden für jede Transaktion durchschnittlich 1005 kWh benötigt. Für einen Dreipersonenhaushalt in Deutschland werden 2500–4000 kWh jährlich aufgewendet. Drei BitCoin-Transaktionen benötigen so viel EE wie ein 2–3 Personenhaushalt im Jahr. 100.000 Visa-Transaktionen hingegen benötigen „nur“ ca. 170 kWh.

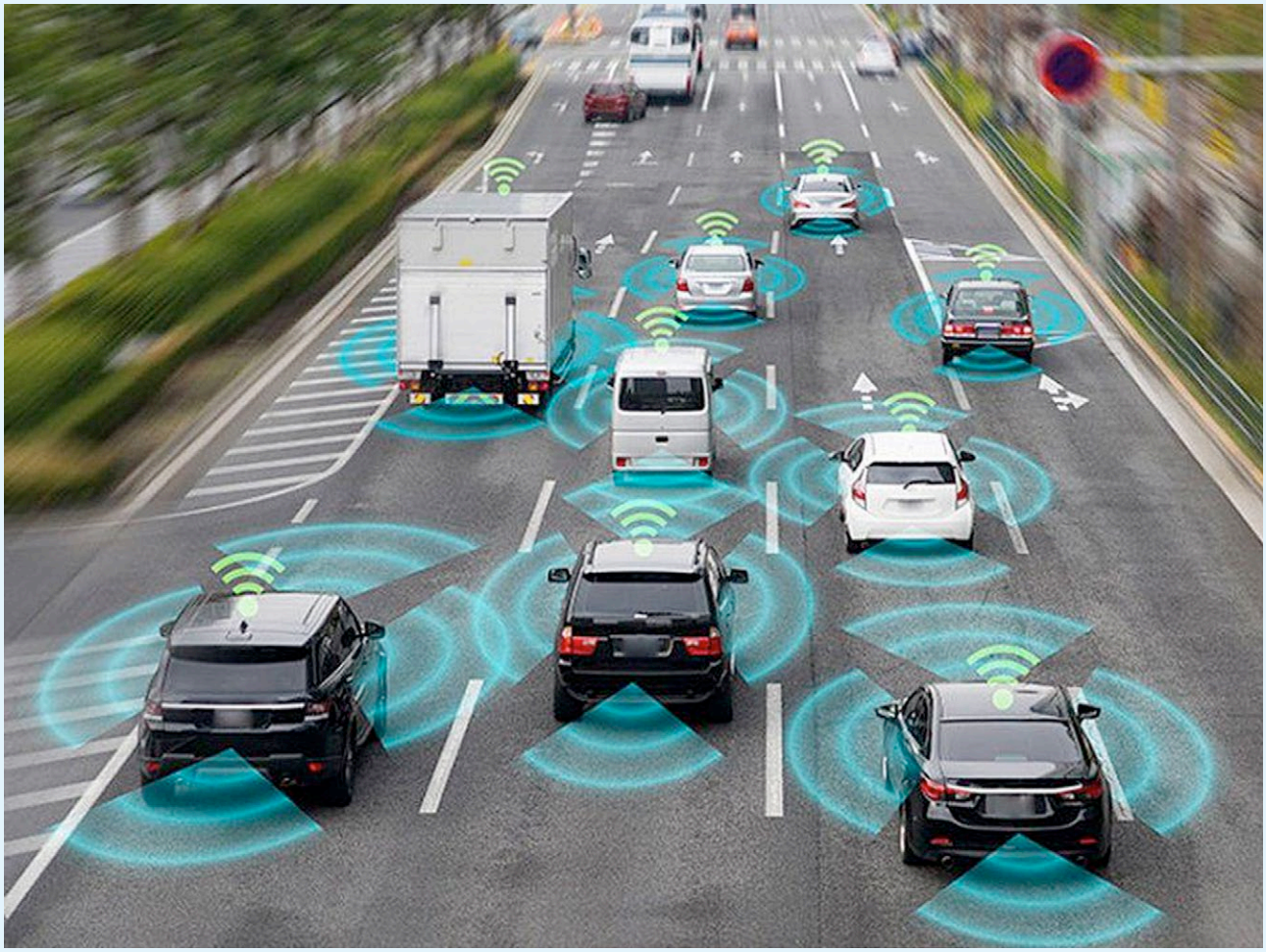
Der jährliche weltweite EE-Aufwand dieser Kryptowährung ist etwas größer als der Gesamtbedarf der Schweiz oder der Tschechischen Republik.

Man mag es nicht glauben, dass mit dem EE-Bedarf dieser Währung ganz Österreich versorgt werden könnte.

Hochrechnungen ergeben, dass z. B beim Erreichen der BitCoin-Obergrenze von 21 Millionen Teilnehmern möglicherweise im Jahr 2024 der Wert des weltweiten EE-Bedarfs erreicht würde.

Betrachten wir autonome Verkehrssysteme:

Wie die nachstehende Abbildung zeigt, müssen sämtliche autonom fahrenden KFZ untereinander über Großrechnersysteme kommunizieren.

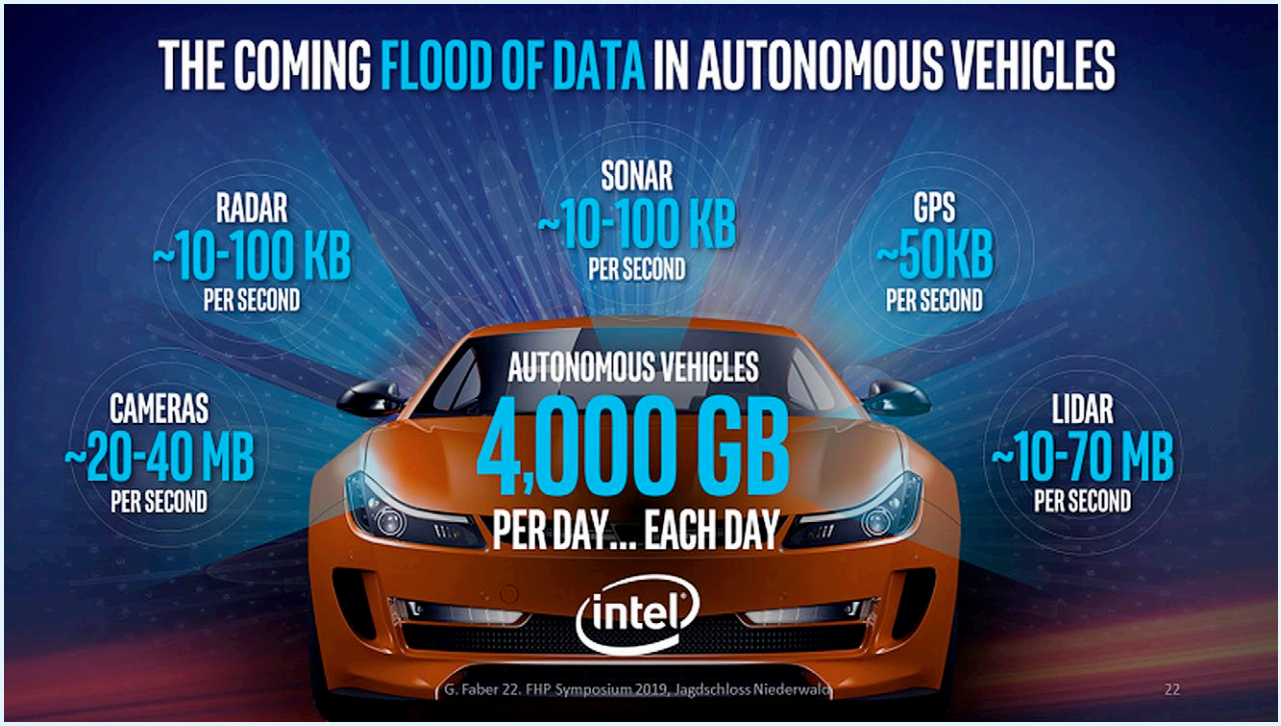


Nach derzeitigen Intel-Schätzungen wird die Datenflut eines autonomen KFZ pro Tag 4 TB betragen, also 4.000.000.000.000 Byte, ein Wert jenseits unseres Vorstellungsvermögens. Welche Redundanzen erforderlich werden, um die derzeitige Sicherheit im Straßenverkehr zu erreichen, ist ungeklärt. Ohne Redundanzsysteme wird es kaum möglich sein. Bei ca. 50 Millionen in Deutschland zugelassener KFZ würden riesige Datenmengen anfallen, wollte man zu vollautonomem Fahren wechseln.

Anschließend eine Übersicht der Firma INTEL zunächst über die sekündliche Datenerzeugung der verschiedenen für autonomes Fahren erforderlichen Systeme: GPS, Kamera, Lidar, Radar und Sonar. Datenintensiv sind Lidar und die Kamera.

Noch einmal zur Erinnerung: Ein Bit ist die kleinste Informationseinheit, z. B. erzeugt eine Kontrolllampe mit zwei Zuständen, an oder aus, ein Bit.

Niemand kann den insgesamt benötigen EE-Bedarf eines völlig autonomen Verkehrs auch nur annähernd schätzen, aber er wird gigantisch sein. Große Investitionen in Rechenzentren, Kraftwerke, Netze werden notwendig werden. Ob parallel zu einem eventuellen Umbau unserer Verkehrssysteme zur vollen Autonomie die EE-Infrastruktur mitwachsen kann, muss bezweifelt werden. Sofern man von einem hohen Prozentsatz von Elektroantrieben ausgeht, wird der EE-Bedarf um weitere Potenzen höher werden. Es gilt als sicher, dass bei derzeitiger Infrastruktur die EE-Netze völlig überlastet würden. Autonome Verkehrssysteme würden eine erhebliche Erweiterung unserer Netze und Kraftwerke erfordern. Da diese Energie vermutlich nur zu einem Teil durch Solar-, Wind- und Wasserkraftwerke erzeugt werden kann, dürfte die CO_2-Belastung wieder erheblich zunehmen. Inwieweit dieser erforderliche EE-Bedarf aus sog. ‚grünem Strom' bereitgestellt werden kann, ist mehr als fraglich.



Autonomer Luftverkehr

Nach Schätzungen wird die zu bearbeitende Datenmenge im Luftverkehr wegen der dritten Dimension und der notwendigen dreifachen Redundanz noch deutlich höher werden als im Fahrzeugverkehr, strebt man den derzeitigen Sicherheitsstandard von 10E-6 oder besser an.

Ungeklärt ist, ob bei autonomem kommerziellen Luftverkehr die zusätzlichen für die IT-Infrastruktur und die EE-Kosten niedriger sind als die Pilotengehälter, also ein ökonomischer Gewinn zu verzeichnen sein wird.

Darüber hinaus müssen nachfolgende Fragen beantwortet werden:

- Wie soll die derzeitige Sicherheit von 10E-6 erreicht werden?
- Finden autonome Verkehrsflugzeuge Akzeptanz bei Passagieren?
- Wie ist die Rechtslage, wer ist verantwortlich, wenn es keinen PIC mehr an Bord gibt, Bodendienste, Entwickler, Hersteller, Flugsicherung, CIC?
- Können lernende elektronische Systeme zur Flugführung gleiches leisten wie die „Hudson River Crew“ US-Airways 1549,2009, CPT Chesley >Sully> Sullenberger und F/O Jeffrey Skiles oder die Crew des kürzlich in einem Maisfeld in Russland notgelandeten A 321 der Ural Airlines 178, CPT Damir Yusupow und F/O Grigorij Murzin, 2019?

Um es auf einen kurzen Nenner zu bringen, AI ist eben keine Intelligenz in unserem Verständnis. Auch lernende Maschinen bleiben determiniert.

Je mehr ich mich mit dem Thema Autonome Verkehrssysteme beschäftige, umso skeptischer werde ich trotz aller euphorischen Erfolgsmeldungen. Eine volle Autonomie wird allein wegen der Kompatibilität mit konventionellen Systemen aus Sicherheits- und Redundanzgründen (Uber-Unfall in Phoenix, AZ) kaum zu erreichen sein. Auch ist zu bezweifeln, dass autonome Verkehrssysteme so sicher werden, dass Haftpflicht- und Kaskoversicherungen entfallen könnten und die Unfallzahlen gegen Null gehen werden, wie von Automobil-Experten behauptet wird (vgl. HR info-Podcast zum autonomen Fahren, F. Dudenhöffer, 13-01-2017).

Es erscheint sehr fraglich, ob sich die erforderlichen gigantischen Investitionen in autonome Verkehrssysteme amortisieren werden. Sicherlich wird es im Rahmen der AI-Forschung Teilergebnisse geben, die für die Technik der Zukunft sehr hilfreich sein werden, aber eine vollständige Autonomie der Verkehrssysteme wird eher nicht möglich werden.

Wir sollten unsere FHP-Bemühungen fortsetzen, durch Aus-, Fort- und Weiterbildung von Premium-Piloten die Sicherheit im Luftverkehr zu erhöhen. Einsparungen in der ATPL-Ausbildung, die zur Qualitätsminderung der Piloten führen, sind langfristig kontraproduktiv. Hochqualifizierte Piloten mit guter System Awareness, also Subsystemkenntnissen, waren schon oft „last line of defence“.

Leider gibt es keine Statistiken, wie viele Incidents und Accidents durch hochqualifizierte Piloten verhindert wurden. Push Button Operatoren („Knöpfchendrücker“), die nur über geringe Subsystemkenntnisse ihres Flugzeugs verfügen, haben schlechtere Chancen, Problemlösungsstrategien in zeitkritischen Situationen zu entwickeln. Die Mensch-Maschine-Schnittstelle Cockpit heutiger Verkehrsflugzeuge ist hinsichtlich des Datenanfalls im Normalbetrieb komfortabel und beherrschbar. Bei Störungen hingegen kann die Datenmenge so stark ansteigen, dass die maximale Zuflussgrenze unseres Bewusstseins von 16 Bit/s erreicht oder überschritten wird. Hochqualifizierte, erfahrene Piloten mit größerer subjektiver Vorinformation haben bessere Chancen, Problemlösungsstrategien zu entwickeln. Ungeklärt bleibt auch, ob man extrem selten vorkommende Entscheidungsvarianten programmieren kann.

Glossar

AI	Artificial Intelligence
Assistenzsystem	Dient der Unterstützung der Operatoren, z. B. Bremskraftverstärker
ATPL	Airline Transport Pilot License (Lizenz für Verkehrspiloten)
Bit	Binary Digit, Informationseinheit
BitCoin	Kryptowährung
Block Chain	Miteinander verkettete kontinuierlich erweiterbare Krypto-Datensätze
Byte	Besteht aus 8 Bit
CIA	Central Intelligence Agency (US-Geheimdienst)
CIC	Computer in Command, scherzhafte Zuordnung der Verantwortung
Cloud	Datenspeicher außerhalb eigener Computer
CPT	Flugkapitän
EE	Elektrische Energie
F/O	First Officer (Co-Pilot)
Governancesystem	Greift aktiv in die Flugführung ein, z. B. MCAS
GPS	Global Positioning System, US-Satelliten Funk-Navigationssystem
HR	Hessischer Rundfunk
Intel	Intel Corporation ist eine multinationale Halbleiter-US-Technologiegesellschaft
IT	Informations- (Datenverarbeitungs-) + Telekommunikationstechnik
KI	Künstliche Intelligenz
Kilo	> Mega > Giga > Tera > Peta > Exa > Zetta (10E3, 10E6, 10E9, 10E12, 10E15, 10E18, 10E21)
kW	Kilowatt (Leistung) (736 W $\triangleq$ 1 PS)
kWh	Kilowattstunden (Arbeit)
LASER	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, genau fokussierbares Licht
LIDAR	Radarsystem auf LASER Basis, höhere Genauigkeit durch Licht
Live-Streaming Media	Zeitgleiche Übertragung von Video- und Audiodateien über Rechnernetzwerke (Rechenzentren)
MCAS	Maneuvering Control Augmentation System is a flight control law (software) written into the Boeing 737 MAX flight control system which attempts to mimic pitching behavior similar to the Boeing 737 NG, especially in high angle of attack (AoA) flight (Wikipedia)
NETFLIX	US-Mediendienst z. B. für Video Streaming
PIC	Pilot in Command, Flugkapitän
RADAR	Radio Detecting And Ranging, Ortungssystem auf Basis der Reflexion elektromagnetischer Wellen
SONAR	Akronym für Schall-Ortungssystem
TB	Tera Byte = 10E12 Byte
TW	Tera Watt (1000 000 000 000 Watt, 1 Billion Watt)
TWh	Tera Wattstunden (1 Billion Wattstunden)
Visa	US-Finanzdienst
W(ork)	Arbeit (= P(ower) · t (tempus/Zeit)
YouTube	US Videoplattform für Onlinevideos

Literatur

- ADAC Motorwelt, München 11/2019
- Bundesregierung, Strategie Künstliche Intelligenz der Bundesregierung, Berlin 2018 www.ki-strategie-deutschland.de
- Exposé zum 22. FHP-Symposium 10-2019, Rüdesheim
- Frankfurter Allgemeine Sonntagszeitung (FAS), Wissenschaft: Kann ein Auto aus Fehlern lernen?, 01-12-19, S.48f
- FHP-Broschüren der Symposien der Jahrgänge 2009 – 2019, www.fhp-aviation.com
- Fraunhofer, Wissenschaftliche Beratung des BMVI zur Mobilitäts- und Kraftstoffstrategie
- Fraunhofer IML, Energie- und Treibhausgaswirkungen des automatisierten und vernetzten Fahrens im Straßenverkehr, Karlsruhe 2019
- HR-info Podcasts: Netzwelt, CO2-Fußabdruck digital, Julia Rutsch, Frankfurt 2019
- Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung Berlin
- Kalte Sonne, Newsletter über aktuelle Klimathemen
- Müller / Weber, Wie intelligent ist die künstliche Intelligenz, Tumult, Meckenheim 2018/19
- Prime Energy IT, Energieeffiziente Infrastruktur für Rechenzentren und Serverräume, Wien 2011
- Schneider, Andreas, Quarks.de, So viel Energie verbraucht das Internet, 2019
- Spiegel, Emergency Autoland, Bleiben Sie ruhig, Nr. 46, 2019, S.117
- Umweltbundesamt, Luftverkehr der Zukunft, UBA-Forum 2019
- Weinert, Andreas, Autonome Verkehrssysteme, Internet Aufsatz

Abschließende Anmerkung: Ein Teil der in diesem Beitrag genannten Daten und Zahlen beruhen auf Schätzungen und Extrapolationen. Vollkommen exakte Daten sind, wenn überhaupt, nur unter großem Aufwand zu ermitteln. Dennoch ist das vorhandene Datenmaterial zur Trenderkennung geeignet.

Gerhard.Faber@nt.tu-darmstadt.de, www.fhp-avation.com