

Zur Arbeit fliegen?

Eine Technikfolgenabschätzung der Idee des individuellen Luftverkehrs für die Stadt

von Sarah Meyer-Soylu, Michael Decker, Torsten Fleischer und Jens Schippl, ITAS

Den Stau einfach unter sich lassen? Wenn der alte Traum von „fliegenden Autos“ – sog. Personal Air Vehicles (PAVs) – wahr würde, wäre das eine echte Option. Wie könnte das aussehen? Welche Schlüsselfragen sind zu klären, welche Ängste und Befürchtungen bestehen und vor welche Herausforderungen würden solche PAVs die Städte, Regularien und Techniker stellen? Antworten auf diese Fragen gibt der folgende Beitrag, welcher Ergebnisse des EU-Projekts myCopter vorstellt.¹ Das Projekt geht der Idee nach, individuellen Luftverkehr für Pendler in von Stau geplagten Städten zu ermöglichen. Er behandelt Voraussetzungen für und mögliche Konsequenzen eines solchen „Personal Air Transport Systems“.²

1 Einleitung

Im Bereich neuer Mobilitätsoptionen und Services existiert eine breite Spannweite technischer Entwicklungsströmungen (Wiesenthal et al. 2011), bei denen gemeinhin Informations- und Kommunikationstechnologien eine Schlüsselrolle spielen. Die meisten neuartigen Entwicklungen versuchen, entweder die Mobilität sauberer und/oder energiesparender zu gestalten (Skinner et al. 2010), die Mobilitätsbedürfnisse zu reduzieren oder eine Verlagerung des Verkehrs hin zu effizienteren Verkehrsmitteln zu erreichen (Banister 2008; EC 2011). Welche Trends sich durchsetzen werden, ist allerdings offen und schwer vorhersehbar. Gleichzeitig gibt es aus gesellschaftlicher Perspektive gute Gründe, zentrale Infrastrukturen wie das Verkehrssystem nachhaltig zu gestalten, wofür eine entsprechende „ex-ante“-Analyse dieses soziotechnischen Systems unumgänglich ist.

Während viele dieser Innovationen gewissen Entwicklungspfaden folgen, sollte im Auge behalten werden, dass Überraschungen auftreten können, die überhaupt nicht oder nicht von der

Mehrheit der entsprechenden Experten vorhergesehen wurden. In einer Rückschau werden diese Entwicklungen dann oft als „disruptive“ Technologien oder Innovationen bezeichnet (Markides 2006). Bekannte Beispiele hierfür sind die Nutzungsänderungen bei PCs und Mobilfunkgeräten.

In Bezug auf PAVs lässt sich sagen, dass die Vorstellung von fliegenden Autos, die im Alltag benutzt werden, um zum Beispiel zur Arbeit zu fliegen, schon über 100 Jahre alt ist und immer wieder in Zeitschriften, Filmen und Bildern auftaucht. Aber nicht nur die Idee geistert seit vielen Jahren in den Köpfen der Menschen umher, auch die konkrete technische Umsetzung hat viele Bastler auf den Plan gerufen und eine Vielzahl von Prototypen und Jungfernflügen erzeugt.³

2 Das Projekt myCopter

Im Projekt myCopter geht es um die Weiterentwicklung von Technologien, die für die Realisierung eines „Personal Air Transport Systems“ (PATS) und den darin operierenden PAVs als notwendig angesehen werden; es geht nicht um die Entwicklung eines realen PAV (Jump et al. 2011). Das Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) beschäftigt sich im Projekt mit Fragen der sozialen Akzeptanz, der benötigten Infrastruktur, der Ausgestaltung der Mensch-Maschinen-Schnittstelle und dem Grad der Automatisierung von PAVs. Damit reagiert myCopter auf die immer größer werdenden Probleme in Städten während des Berufsverkehrs und untersucht die Idee, Berufspendlern eine weitere Option für ihren täglichen Weg zur Arbeit zur Verfügung zu stellen. Hierbei wird versucht, die Vorteile des individuellen Autoverkehrs (direkte Tür-zu-Tür-Verbindung, sofortige Verfügbarkeit, Privatsphäre usw.) auf das Luftverkehrssystem, das bisher nur in Ausnahmefällen und normalerweise für deutlich längere Streckenabschnitte verwendet wird, zu übertragen.

Das im Projekt verwendete „Pendlerszenario“ mit Wegelängen von nicht mehr als 100 Kilometern für Hin- und Rückweg insgesamt ist insbesondere für Wege innerhalb von größeren Städten oder für Arbeitswege vom Land in die Stadt gedacht. Die allgemeine Projektvision von kleinen fliegenden Vehikeln, fähig, vertikal oder auf sehr kurzen Distanzen (short take-off and landing =

STOL) abzuheben und zu landen, wurde im Verlauf des ersten Jahres im Rahmen eines gemeinsamen Workshops aller Projektpartner ausgearbeitet. Als Ergebnis dieses Workshops entstanden mehrere Wegeszenarien und ein sog. „Reference PAV“, eine gemeinsam geteilte Vorstellung über Eigenschaften und Fähigkeiten eines typischen PAVs, welches in der Lage wäre, die allgemeine Projektvision zu erfüllen. Diese Szenarien und das Reference PAV werden im folgenden Abschnitt näher vorgestellt (s. auch Tab. 1).

3 Reference PAV und Wegeszenarien

Als Konsens unter den Projektpartnern darf ein PAV, um auch in die bestehende städtische Infrastruktur zumindest teilweise integrierbar zu sein, nicht größer als ein heutiger Mittelklassewagen sein. Die Entscheidung für einen Ein- bis Zweisitzer entspricht der Tatsache, dass der Besetzungsgrad von Autos heutzutage im Berufsverkehr immer deutlich näher bei ein als bei zwei Personen liegt.

Größe und Sitzplatzanzahl ergeben das angepeilte Startgewicht von 450 Kilogramm. Diese Zahl ist aber auch beeinflusst von den derzeit geltenden Regularien der EU (Verordnung (EG) Nr. 216/2008) (EU 2008), die zweisitzige Flugzeuge oder Hubschrauber bis zu einem Maximalgewicht von 450 bzw. 472,5 Kilogramm (inklusive Gesamtrettungssystem) von ihrer Reglementierungszuständigkeit ausschließt und damit den nationalen Behörden Handlungsspielräume zuweist. Die Antriebstechnologie eines PAVs sollte aus verschiedenen Gründen nicht auf konventionellen, fossilen Energiequellen beruhen. Ein elektrischer Antrieb liegt nahe, ist aber mit der derzeitigen Batterietechnologie (Energiedichte, Ladedauer, Gewicht, Preis) noch nicht ohne weiteres leistbar. Eine (geringe) Manövrierbarkeit am Boden wird als notwendig erachtet, um die Fahrzeuge nach der Landung bzw. vor dem Start zu/von einem Parkplatz bewegen zu können.

Eine besonders wichtige Spezifikation ist der Grad der Autonomie. Dabei ist Autonomie nicht zu verwechseln mit Automatisierung. Der Begriff Automatisierung beschreibt die Tatsache,

Tab. 1: Eigenschaften des myCopter „Reference PAV“

<i>Physikalische Eigenschaften</i>	
Anzahl Sitzplätze	1+1
Größe des PAV	Größe eines Mittelklassewagens
Antriebstechnologie	vorzugsweise elektrisch
höchstzulässige Startmasse	450 kg
<i>Leistungsvermögen/Leistung</i>	
Manövrierbarkeit am Boden	ja, aber nur für kurze Distanzen, kein „fahrendes Flugzeug“
Fähigkeit, selbstständig (autonom) zum Nutzer zu kommen	Bestandteil des Szenarios 1 „Full autonomy“
Startfähigkeit	VTOL (vertical take-off and landing) notwendig
Eignung für IMC (Instrument Meteorological Conditions) ⁴	ja
Eignung für Fliegen bei Dunkelheit	ja
Fähigkeit bei/in Bewölkung/Wolken zu fliegen	in optisch beeinträchtigter Umgebung ja, nicht in Wolken
Durchschnittliche Reishöhe	< 500 m über Geländeoberfläche
Reichweite	100 km
Reisegeschwindigkeit	150–200 km/h
Automatisierungslevel	zwei unterschiedliche Szenarien
Automatische Kollisionsvermeidung	ja
Automatische Start und Landefähigkeit	ja
<i>Weitere Anforderungen</i>	
Nutzbarkeit im Jahresverlauf	90% des Jahres

Quelle: Eigene Tabelle

dass eine Handlung ausgeführt wird, wenn bestimmte VORHER festgelegte Randbedingungen erfüllt sind. Hierfür müssen in der Situation selbst keine Entscheidungen getroffen werden. Ein Beispiel ist die heute in vielen Autos vorhandene Scheibenwischerautomatik, die immer in Gang gesetzt wird, wenn ein Sensor eine vorher festgelegte Menge an Feuchtigkeit registriert. Der Begriff der Autonomie beschreibt etwas sehr viel Weitreichenderes, nämlich die Fähigkeit eines Systems, eigenständige Entscheidungen zu treffen und dann nach diesen zu „handeln“.

Um Systeme hinsichtlich ihres Grades an Autonomie vergleichen zu können, wurden verschiedene Taxonomien entwickelt. Exemplarisch wird hier die PACT (Pilot Authority and Control of Tasks)-Taxonomie kurz vorgestellt, entwickelt in Großbritannien von der „Defence Evaluation Research Agency“ und weiterentwickelt von Hill et al. (2007) (s. Tab. 2).

MyCopter geht davon aus, dass für eine Alltagstauglichkeit von PAVs eine sehr weitreichende Autonomieübertragung an das System von Nöten wäre (PACT-Ebene 4 oder 5). Alle niedrigeren Ebenen würden den potenziellen Nutzerkreis stark einschränken und die Ausbildungsanforderungen so stark erhöhen, dass sie mit dem Kosten- und Zeitaufwand für heutige Helikopter vergleichbar

wären und somit PAVs voraussichtlich nicht wirklich neue Nutzergruppen erschließen könnten.

Im Rahmen des Projekts wird von einem Szenario „Full Autonomy“ mit sehr weitreichender Systemautonomie (PACT-Ebene 5) und einem weiteren Szenario „Augmentation“ mit deutlich weniger Systemunterstützung ausgegangen. Mit dem englischen Begriff „augmentation“ ist eine Art der Automation gemeint, welche die Reaktionen des Flugzeugs beeinflusst und zwar in der Art, dass das Flugzeug stabiler und einfacher zu steuern wird. In diesem Szenario ist also eine Art „Hilfssystem“ aktiv, welches die Steuerung vereinfacht. Die relevanten Entscheidungen werden jedoch dem Nutzer überlassen, der in diesem Szenario eher als Pilot zu bezeichnen ist. Dieses zweite Szenario beschreibt den Übergang von der heutigen Situation in der zivilen, allgemeinen Luftfahrt hin zu einer Zukunft mit Vollautonomie.

Wie konkrete Wegeszenarien für den Pendleralltag aussehen könnten, zeigen die beiden folgenden Narrative:

Szenario 1 „Full Autonomy“

Dieses Szenario beschreibt die Situation eines voll autonomen PAVs, welches den gesamten Flugablauf eigenständig durchführt. Außer der Eingabe des Reiseziels durch den Nutzer und der vorheri-

Tab. 2: PACT-Taxonomie

<i>Verortung der Autorität</i>	<i>Computer Autonomie</i>	<i>Ebene der PACT</i>	<i>Art der Interaktion/Beziehung zwischen Mensch & Maschine</i>
Computer, beobachtet vom Pilot	voll	5a	Computer macht alles eigenständig
	Handlung falls nicht widerrufen	5b	Computer wählt Option, führt sie aus und informiert Mensch darüber
Computer, Rückfallebene Pilot		4a	Computer wählt eine Option und führt sie aus, wenn Mensch nicht ablehnt
		4b	Computer wählt eine Option und führt sie aus, falls Mensch zustimmt
Pilot, Rückfallebene Computer	Empfehlung und falls autorisiert Handlung	3	Computer schlägt Optionen vor und empfiehlt eine davon
Pilot, unterstützt von Computer	Empfehlung	2	Computer schlägt Optionen vor
Pilot, unterstützt von Computer nur nach Aufforderung	Auf Anfrage erfolgt Empfehlung	1	Mensch fordert Optionen vom Computer an und entscheidet sich für eine
Pilot	keine	0	Alle Aufgaben vom Menschen übernommen. Ausnahme: eigentliches Funktionieren („operation“)

Quelle: nach Hill et al. 2007, modifiziert durch zusätzliche Unterteilung der Ebenen 4 und 5

gen Information an das PAV, dass man es nutzen möchte, ist kein weiteres Eingreifen notwendig. Auch Menschen, die bisher vom Autofahren ausgeschlossen sind (z. B. ältere und/oder behinderte Menschen ohne Führerschein, Kinder), könnten solch ein PAV nutzen. Das Szenario stellt enorme Anforderungen an die Technik insgesamt, an die Fähigkeiten des PAVs selbst, aber auch an das gesamte PATS und dessen Standards.

Es ist 8 Uhr morgens. Jochen Steiner ist spät dran. Er sucht sein „homeTab“, einen kleinen Tablet PC, den er benutzt, um mit anderen zu kommunizieren, Filme zu schauen oder die Haushaltsgeräte in seinem neu gekauften Haus rund 30 Kilometer entfernt von seinem Arbeitsort in Frankfurt am Main zu steuern und zu kontrollieren.

Da ist es endlich. Während er das „ezPAV app“ öffnet nimmt er sich schnell noch eine Tasse Kaffee. „Guten Morgen, was kann ich für Sie tun?“ tönt es aus dem homeTab. „Ich möchte in fünf Minuten ins Büro“, brummt Jochen vor sich hin. „Kein Problem, mein Herr. Das nächste „myCopt“ wird in etwa sechs Minuten vor Ihrer Haustür sein.“

Jochen steigt in das myCopt und bestätigt die Zieleingabe auf dem Nutzerdisplay. „Wir werden den FreeDesign PAV Landeplatz um 8:25 Uhr erreichen.“ „Möchten Sie die elektronische Tageszeitung auf die Frontscheibe projiziert haben?“ „Soll Ihr zuletzt gehörtes Album von Robbie Williams weiter abgespielt werden?“, erkundigt sich der Computer. Jochen muss schmunzeln. Robbie Williams muss mittlerweile um die sechzig Jahre alt sein, aber er macht immer noch Musik für Zwanzigjährige.

Das myCopt erhebt sich sanft in die Lüfte, beschleunigt und reit sich in einen dichten Strom anderer PAVs ein, die den virtuellen Highway Richtung Frankfurt Stadtzentrum benutzen. Es ist ein ruhiger Flug mit rund 160 km/h. In der Nähe des FreeDesign-Bürogebäudes verlässt das myCopt den Schwarm von PAVs und beginnt den Sinkflug in Richtung Landepad auf dem Dach des Bürogebäudes. Jochen steigt aus und das PAV fliegt lautlos davon.

In der Eingangshalle trifft er auf seine neue Chefin, die ebenfalls gerade angekommen ist. „Haben Sie das Spiel gestern Abend geschaut?“ fragt Sie mit einem Lächeln...

Szenario 2: „Augmentation“

Dieses zweite Szenario stellt deutlich geringere Anforderungen an die Fähigkeiten des PAVs und bedingt dadurch, dass mehr Verantwortung und Aufgaben beim Nutzer verbleiben.

Der Grad an Autonomie ist zentrales Moment in der Diskussion über die Gestaltung eines

„Frank, hast du gestern Abend das copt aufgeladen?“ „Natürlich, Schatz!“ Marie Müller verlässt das Haus und läuft zur Garage. Wenn er es nicht von Zeit zu Zeit vergessen würde, hätte sie nicht nachgefragt. Sie drückt auf die Garagenautomatik, die Garagentüre öffnet sich und das myCopt gleitet heraus. Marie läuft einmal rundherum und kontrolliert, ob alles in Ordnung ist. Dann steigt sie ein und verbindet sich mit der automatischen Flugkontrolle. „Marie Müller, Fahrzeugnummer HS-1557MC, Reiseziel: Frankfurt Bahnhofsviertel.“ Die Flugkontrolle: „Ihr reservierter Landeplatz ist PL 328, planmäßige Ankunftszeit am Main Tower um 8:37 Uhr.“

Marie hebt ab. Abgesehen vom Höhenkontrollstick ist das Steuern des PAVs nicht anders als Auto fahren für sie. Okay, eine Projektion von erlaubten Flugrouten auf der Windschutzscheibe gab es natürlich nicht, als sie vor 15 Jahren mit dem Auto zur Arbeit fuhr, aber...

Nach den schweren Regenfällen letzte Woche führt der Main immer noch Hochwasser und Teile von Niederursel sind noch überflutet. Marie entscheidet sich, das einmal genauer anzuschauen und wendet das PAV nach links, wobei sie fast mit einem Reiher kollidiert. Nachdem sie das Hochwasser besichtigt hat, kehrt sie auf ihren ursprünglichen „virtuellen Highway“ zurück und übergibt an den Autopiloten.

In der Nähe des Main Towers angekommen, meldet sich die Flugkontrolle wieder: „Aufgrund Ihrer Routenänderung haben sie ihren reservierten Landezeitpunkt verpasst. Ihre neue Ankunftszeit ist 8:44 Uhr. Wir haben Ihnen Position 8 in der Warteschlange zugewiesen.“

„Mist“, denkt Marie.

Nach der Landung manövriert sie ihr PAV auf Parkplatz PL 328 und stellt es sicher ab.

„Oh Mann, einen der abgelegensten Parkplätze in dem riesigen Komplex habe ich heute bekommen. Ich werde mindestens 10 min Fußweg bis zum Büro haben...“

PATS und der darin agierenden PAVs. Es ist nicht verwunderlich, dass eine Festlegung in diesem Bereich Anpassungen und Änderungen anderer Parameter bedingt. Je nach Autonomiegrad werden zum Beispiel vom Nutzer Fähigkeiten vergleichbar mit denen eines Piloten, Autofahrers oder reinen Passagiers gefordert, wobei jede dieser Rollenzuweisungen unterschiedliche Fähigkeits- und Ausbildungsanforderungen (Pilotenlizenz, Führerschein, keine Lizenz) stellen. Durch die jeweils nötigen Sensoren, Prozessoren und Kontrollsysteme und deren Energieversorgung wird auch das Gewicht des PAV beeinflusst.

Der vielleicht sensibelste Punkt betrifft die Akzeptanz von PAVs im Alltag und insbesondere in Notfallsituationen. Der vollautonome Modus scheint der einzig denkbare Weg zu sein, um in

Notfall- und Extremsituationen (z. B. Gewitter oder heftiger Regen) sicheres Agieren zu gewährleisten. Ob Nutzer – insbesondere auch die Nutzer der eigentlich semi-autonomen und nicht-autonomen Modi – Eingriffe des Systems in solchen Fällen akzeptieren würden, ist ungewiss.

Die obigen Szenarien deuten viele Fragen bei der konkreten Umsetzung an, insbesondere die Einbettung von PAVs in den städtischen Kontext betreffend. Einige dieser Problemfelder werden im Folgenden näher beleuchtet.

4 Herausforderungen und Probleme

Die Konstruktion des PAV selbst ist nur ein kleiner Schritt auf dem Weg zu einem PATS (EC 2007). Die zentralen Problemfelder, die im Rahmen der Technikfolgenabschätzung für myCopter identifiziert wurden, sind Sicherheit, juristische Fragen, Technik und Betrieb, sozioökonomische und ökologische Herausforderungen, Integration in ein existierendes Transportsystem und städtische Infrastruktur und gesellschaftliche Akzeptanz.

4.1 Sicherheit

Ein dominierendes Thema in der Diskussion über PAVs und ein PATS ist die Frage nach der Sicherheit. Im Gegensatz zu bodengebundenen Verkehrsmitteln, wo Maschinenausfall oder Spritmangel meist nur zu einem außerplanmäßigen Halt führen, stellt dies für PAVs eine große Herausforderung dar. Dieser Eindruck wird bestätigt von einer Delphi-Umfrage, die im Rahmen eines anderen EU-Projekts durchgeführt wurde. Die Umfrage unter 150 Experten, hauptsächlich aus dem Bereich der Luftfahrt, fragte nach Kundenwünschen bezüglich eines zukünftigen individuellen Luftverkehrs.⁵ Gefragt nach der Bedeutung von elf Eigenschaften (z. B. öffentliche Akzeptanz, Reisezeit, Lärmlevel, Verfügbarkeit etc.) für das gesamte zukünftige PATS aus Sicht der Nutzer, wurde das Thema Sicherheit als am wichtigsten angesehen.

Das Thema Sicherheit hat viele Facetten. Interne Risiken ergeben sich durch das PAV selbst (mechanisches Versagen) und sein Kontrollsystem (z. B. Sensorausfall), je nach Autonomiegrad auch

durch menschliche Schwächen wie Müdigkeit, fehlende Aufmerksamkeit und Fehlinterpretation.

Externe Sicherheitsrisiken bestehen durch ungünstiges Wetter, Kollisionen mit anderen Flugzeugen oder Vögeln sowie mögliche Zusammenstöße mit Objekten am Boden. Da ungünstige Wetterbedingungen schon bei den großen Verkehrsflugzeugen immer wieder Probleme verursachen, stellt sich dieses Problem der Nutzbarkeit von PAVs bei schlechten Wetterbedingungen umso mehr. Im ersten Jahr des Projektes wurde eine Wetteranalyse für Frankfurt am Main gemacht mit dem Ergebnis, dass die für PAVs geforderte neunzigprozentige Nutzbarkeit (Tab. 1) über das Jahr gesehen sehr schwer erreichbar ist und Schnee, Nebel und Wind in vielen Fällen ein Fliegen nach Sichtbedingungen unmöglich machen.⁶

4.2 Juristische Fragen

Die rechtlichen Rahmenbedingungen betreffen sowohl Entwickler von PAVs als auch potenzielle Nutzer. Hier stellt sich zum einen die Frage, welchen Regularien das PAV genügen muss, um zugelassen zu werden, und wer diese Regularien vorgibt.⁷ Der verfügbare Luftraum und Einschränkungen der Betriebszeiten aus Lärmschutzgründen sind weitere Fragen, ebenso Haftung und Versicherung. Ohne konkrete Festlegungen zu Gewicht und anderen Eigenschaften des PAV und der Systemarchitektur sind eindeutige Antworten hierzu unmöglich.

Ist beispielsweise der Grad der Autonomie des PAV gering und in kritischen Situationen entscheidet nicht das System, sondern der Nutzer (Pilot), so wären heutige Versicherungsmodelle sicherlich in der Lage, damit umzugehen und Fragen der Haftung zuzuordnen. Je mehr Autorität man aber dem System überträgt, desto schwieriger wird die Rechtslage. Diese Situation ähnelt derjenigen im Bereich des autonomen Fahrens. Experten gehen davon aus, dass zur Klärung der Situation auf der Straße das Wiener Übereinkommen (1968) über den Straßenverkehr geändert werden müsste, welches vorsieht, dass jeder Fahrzeugführer sein Fahrzeug dauernd und unter allen Umständen beherrschen muss (Art. 8 Abs. 5). Die Automobilindustrie mit ihren Interessen und dem größeren Nutzerkreis wird

hier wohl den Weg ebnen und ihn damit auch für Fragen des autonomen Fliegens vorbereiten.

4.3 Technik und Betrieb

Obwohl weltweit schon eine Vielzahl von PAVs (meist als Prototypen), Helikoptern und sog. Gyrokoptern existiert, bleiben noch einige technische Herausforderungen, um ein PATS Realität werden zu lassen. Dazu gehören höhere Produktionsstückzahlen zu geringeren Preisen, leichte Bedienbarkeit, ein hoher Sicherheitsstandard und ein höherer Autonomiegrad als heute üblich.

Betriebliche Aspekte sind auch zu klären, wie die Rolle und Ausgestaltung des Luftverkehrsmanagements und der Luftverkehrskontrolle, die für die sichere Separierung der Flugzeuge untereinander und zu Hindernissen verantwortlich ist sowie den Verkehrsfluss im Blick hat. Die PAVs in myCopter sollen nicht der heutigen Luftverkehrskontrolle unterliegen und auch nicht im kontrollierten Luftraum operieren (myCopter Proposal 2010), demnach müssten neue Kontroll-einheiten und Prozeduren geschaffen werden.

Zu beachten sind hierzu die Entwicklungen auf europäischer Ebene, insbesondere das Single European Sky ATM Research Programm (SESAR; SESAR Joint Undertaking 2010a), welches sich mit zukünftigen Technologien und Abläufen beschäftigt, um das europäische Luftverkehrsmanagement zu modernisieren und zu optimieren (Eurocontrol 2010). Ein Kernelement wird die sog. 4D-Flugbahn sein, bei der sich Fluggerätenutzer, Flugplatzbetreiber und Luftverkehrskontrolle gemeinsam auf einen Flugablauf in drei Raumdimensionen und den zeitlichen Ablauf einigen (SESAR Joint Undertaking 2010b). SESAR kümmert sich um den kommerziellen Flugbetrieb im kontrollierten Luftraum, und es bleibt abzuwarten, welche der Entwicklungen von hier auch für die allgemeine Luftfahrt im unkontrollierten Luftraum relevant sein werden.

Eine Möglichkeit, den Luftverkehr zu organisieren, ist die Einführung von „Highways in the Sky“, also festgelegte Routen für PAVs. In Form von Helikopterrouen für Großstädte (wie London (London Assembly 2006, S. 16) und São Paulo (Cwerner 2006)) mit viel Helikopterverkehr gibt es bereits erste Schritte in diese

Richtung. In São Paulo gibt es zudem ein eigenes Boden-Kontrollzentrum, welches sich nur um die zivilen Helikopter kümmert (Cwerner 2006). Für die myCopter-Vision wäre aber eher das „Free Flight“-Konzept geeignet, bei dem die Abstandssicherung der Flugzeuge von den Piloten/Nutzern selbst übernommen wird und nicht mehr zentral durch die Luftverkehrskontrolle erfolgt (Hoekstra et al. 2002). Das heißt, Flugzeuge wählen ihre Routen selbst („direct routing“). Übertragen auf myCopter, könnte das Konzept so aussehen, dass alle Informationen über Position, Geschwindigkeit, beabsichtigte Flugroute etc. zwischen den PAVs ausgetauscht und von einem bordeigenen System verarbeitet werden. Dieses System wäre verantwortlich dafür, Konflikte zu erkennen und beispielsweise vor überfüllten Lufträumen oder besetzten Landeplätzen zu warnen.

4.4 Sozioökonomische und ökologische Herausforderungen

Es ist schwer abzuschätzen, welche Lärmemissionen das PAV während Flug, Start und Landung verursacht, solange Art und Anordnung der Rotoren nicht bekannt sind. Die Lärmemissionen heutiger Fluggeräte – sowohl Helikopter als auch Flächenflugzeuge – sind jedoch so immens, dass sie viel Protest hervorrufen.

Beschwerden von Anwohnern aus London über Helikopterlärm (London Assembly 2006):

„It is literally impossible to listen to a TV, even at full volume, whilst a helicopter is passing by and impossible to have a telephone conversation unless all doors and windows are closed which, in summer time, is unbearable. It is only when you live here day in, day out that you realise how damaging the Heliport noise is to one's enjoyment of living here.“ (Fulham resident)

„The noise from the helicopters is so bad that our living room windows, which face the river, actually shake and rattle.“ (Battersea residents)

Als Hinweis zur Größenordnung akzeptabler Lärmemissionen sei auf das Umweltgutachten des Sachverständigenrates für Umweltfragen (SRU 2008) verwiesen, welches Zielvorgaben für Lärmemissionen tagsüber und nachts nennt, die sich zwischen 45 dB(A) nachts und 62 dB(A)

tagsüber als langfristiges Ziel bewegen. Die Richtlinien der EU bezüglich Nachtlärms (WHO 2007) nennen 30 dB als anzustrebenden Wert.

Die ökologischen Auswirkungen von PAVs, insbesondere Energieverbrauch, Lärm- und Schadstoffemissionen, werden sicherlich eine große Rolle in der öffentlichen Meinung spielen. Eine erste grobe Abschätzung des Energieverbrauchs des Reference PAV wurde durch den Projektpartner DLR bereits erstellt (Zusammenfassung in Meyer et al. 2011, Kap. 3.4.2, Details in Gursky 2011; Lee et al. 2009). Der Luftverkehr hat bereits heute einen Anteil von zwei bis drei Prozent an den gesamten anthropogenen CO₂-Emissionen, Tendenz stark ansteigend. Er gilt als ein besonders sensibler Bereich, da den hier in größerer Höhe ausgestoßenen Emissionen ein stärkerer Treibhausgaseneffekt zugeschrieben wird.

Die Wirtschaftlichkeit von PAVs wird sehr vom Geschäftsmodell abhängig sein, wie beim Auto ist eine Vielzahl von Möglichkeiten denkbar. Zum einen natürlich weiterhin der individuelle Besitz der jedoch auf absehbare Zeit sehr teuer bleiben wird.⁸ Andere Möglichkeiten wären „Firmen-PAVs“ oder Sharing-Modelle, wie für Autos bereits heute von Automobilherstellern (z. B. Daimler mit „Car 2 go“, Peugeot mit „Mu by Peugeot“) oder über freie Internetplattformen wie „take my car“⁹ angeboten.

4.5 Integration in existierendes Transportsystem und städtische Infrastruktur

Für einen individuellen Verkehr, möglichst von Tür zu Tür, müssten Start- und Landeplätze für PAVs sehr zahlreich und in einem dichten Netz zur Verfügung stehen. Bei guter Verknüpfung mit anderen Verkehrsmitteln könnte auch ein dünneres Netz funktionieren. PAV-Landeplätze dürften ähnlich aussehen wie heutige Helipads und könnten in Großstädten ihren Platz auf Flachdächern insbesondere von Hochhäusern finden. Neben reinen Start- und Landeplätzen müsste es auch besser ausgestattete Plätze geben – vergleichbar mit heutigen Heliports – wo Wartungsarbeiten und „Tanken“ möglich sind. Besonders zu Stoßzeiten dürften die PAVs die Landeplätze nur möglichst kurz belegen, am besten würden sie direkt weitergenutzt. Da aber eine Vollausslastung unwahrscheinlich ist und

bei elektrischem Antrieb auch längere Ladezeiten¹⁰ in Betracht gezogen werden müssen, wären Parkplätze in ausreichender Anzahl erforderlich. Bei vollautonomen PAVs könnte der Weg zu einem Parkplatz bzw. einem neuen Nutzer jedoch selbstständig ohne Mensch an Bord vollzogen werden und die Parkplatzsituation wäre entlastet. Durch die Größe der myCopter PAVs ist eine gewisse Kompatibilität mit heutiger Auto-Parkinfrastruktur gegeben, allerdings ist die Manövrierbarkeit der PAVs am Boden eingeschränkt. Automatische Parksyste mit Liften und Transportbändern (für Autos bereits angewandt) (Skyparks o. J.) wären auch für PAVs sicherlich denkbar und sinnvoll.

4.6 Gesellschaftliche Akzeptanz

Mit den Erwartungen potenzieller Nutzer an ein solches Verkehrsmittel und ihren „Problemwahrnehmungen“ hinsichtlich einer solchen Technologie beschäftigt sich ein eigenes Arbeitspaket in myCopter (Task 7.3). Hierzu wurden drei Fokusgruppen mit jeweils ca. zwölf Teilnehmern in der Schweiz, Deutschland und Großbritannien durchgeführt.

Im ersten Teil der Veranstaltungen wurden das eigene Mobilitätsverhalten und Probleme des heutigen und zukünftigen Mobilitätssystems in den jeweiligen Städten (Zürich, Tübingen und Liverpool) diskutiert. Im zweiten Teil wurden die Teilnehmer mit der Idee von PAVs und einem PATS konfrontiert. Bei zwei Veranstaltungen wurde dieser zweite Teil durch eine Computersimulation in einem Flugsimulator unterstützt. Bei allen drei Veranstaltungen wurde ein Narrativ – ähnlich den beiden oben geschilderten Wegeszenarien – als Einstieg in die PAV-Vision verwendet. Die Ergebnisse dieses Arbeitspaketes wurden Ende März 2014 in einem eigenen Projektzwischenbericht veröffentlicht und können auf der Projekthomepage abgerufen werden.¹¹

Hinsichtlich der gesellschaftlichen Akzeptanz eines PATS und unter ökologischen Gesichtspunkten ist auch wichtig, wie viele PAVs man bräuchte, um eine merkliche Verbesserung der Situation am Boden (weniger Verkehrsstaus) zu erzielen. Mit diesen Fragen beschäftigt sich ebenfalls ein eigener Projektbericht (Del. 7.2. „Design Criteria Report“), welcher online verfügbar ist.¹²

5 Schlussbemerkungen

Die Vision von PAVs in Städten Wirklichkeit werden zu lassen, erscheint von technischer Seite aus möglich. Es bleiben aber Herausforderungen und offene Fragen. Eine wichtige Rolle könnten die Entwicklungen im Bereich autonomer Autos spielen, die zur Klärung rechtlicher Fragen beitragen könnten, ebenso wie Entwicklungen im Bereich Batterietechnologie für Elektroautos. Einige individuelle Problemfelder für PAVs, wie die starke Lärmproblematik, Sicherheitssensibilität oder neue Infrastrukturbedürfnisse, bleiben jedoch bestehen.

Die Veränderungen durch ein PATS betreffen im Vergleich zu anderen Innovationen im Verkehrsbereich gleich mehrere Bereiche (Technik, Verhalten, Infrastruktur). Erfahrungen anderer Verkehrsträger sind nicht einfach übertragbar, und es ist schwer vorstellbar, dass PAVs deren Vorsprung in puncto Wirtschaftlichkeit, Komfort und Sicherheit schnell aufholen werden können. Dies gilt insbesondere, da deren Entwicklung ebenfalls voranschreitet und autonome Autos beispielsweise sehr hohen Komfort (Büro auf Rädern) mit Tür-zu-Tür-Transport verbinden könnten. Dennoch ist nicht ausgeschlossen, dass – ähnlich der Dominanz des Autos und der darauf ausgelegten Infrastruktur und Architektur – PAVs in 50 Jahren ein dominierendes Element des Verkehrssektors darstellen könnten.

Anmerkungen

- 1) MyCopter wird im Rahmen des siebten Forschungsrahmenprogrammes über vier Jahre seit 2011 durch die EU gefördert. Projektpartner sind das Max-Planck-Institut für Biologische Kybernetik (Tübingen, Koordinator), die Universität Liverpool, die Eidgenössischen Technischen Hochschulen Lausanne und Zürich sowie das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (Braunschweig). Projektinformationen unter <http://www.mycopter.eu>.
- 2) Der Inhalt dieses Beitrags beruht zu großen Teilen auf Vorarbeiten von Meyer et al. 2011 und Fleischer et al. 2013.
- 3) Siehe Brown (2011) für einen Überblick über „Flying Cars“ und „Roadable Aircrafts“ weltweit.
- 4) IMC bezeichnet Flugwetterbedingungen, die so „schlecht“ sind, dass das Fliegen auf Sicht nicht mehr ausreichend sicher ist und auf Instrumentenflugregeln umgestellt werden muss. Dies erfordert eine spezielle Ausbildung des Piloten und eine spezielle Ausrüstung des Fluggerätes.
- 5) Das EU-Projekt PPlane beschäftigt sich wie myCopter mit individuellem Luftverkehr, jedoch mit Flugzeugen mit vier bis acht Sitzplätzen (Le Tallec/Joulia 2011). Umfrageergebnisse siehe Roudstein 2010.
- 6) Siehe für die detaillierte Analyse Del. 7.1. Meyer et al. 2011, Kapitel 3.1.1.1.
- 7) In der Klasse der Ultraleichtflugzeuge bis max. 472,5 Kilogramm sind für die Zulassung die nationalen Behörden und nicht die European Aviation Safety Agency zuständig (EU 2008).
- 8) Das bekannte „Flugauto“ Terrafugia Transition wird voraussichtlich um die 200.000 Euro kosten (<http://www.terrafugia.com/aircraft/transition>)
- 9) <http://www.tamyca.de/>
- 10) Denkbar ist auch Batterietausch.
- 11) <http://www.mycopter.eu/>
- 12) <http://mycopter.eu/home/downloads.html>

Literatur

- American Historical Association*, 1945: Will There Be a Plane in Every Garage. Washington, D.C.
- Banister, D.*, 2008: The Sustainable Mobility Paradigm. In: New Developments in Urban Transportation Planning 15/2 (2008), S. 73–80; <http://www.science-direct.com/science/article/pii/S0967070X07000820> (download 9.4.14)
- Brown, J.*, 2011: All the World's Flying Cars & A Complete History of Roadable Aircraft. Birmingham, UK
- Cwerner, S.*, 2006: Vertical Flight and Urban Mobilities: The Promise and Reality of Helicopter Travel. In: *Mobilities* 1 (2006), S. 191–215
- EC – European Commission*, 2007: Out of the box – Ideas About the Future of Air Transport (Part 2), Luxemburg
- EC – European Commission*, 2011: Roadmap to a Single European Transport Area — Towards a Competitive and Resource Efficient Transport System. Brüssel
- EU – European Union*, 2008: Regulation (EC) No. 216/2008 of the European Parliament and the Council of 20 February 2008 on Common Rules in the Field of Civil Aviation and Establishing a European Aviation Safety Agency, and Repealing Council Directive 91/670/EEC, Regulation (EC) No. 1592/2002 and Directive 2004/36/EC
- Eurocontrol*, 2010: Single European Sky; <http://www.eurocontrol.int/dossiers/single-european-sky> (download 24.2.14)

Fleischer, T.; Decker, M.; Meyer-Soylu, S. et al., 2013: Deliverable D7.2 Design Criteria Report; <http://mycopter.eu/home/downloads.html> (download 15.4.14)

Gursky, B.I., 2011: Power Requirement for a Reference PAV Flight. myCopter internal Project Report. DLR Braunschweig

Hill, A.F.; Cayzer, F.; Wilkinson, P.R., 2007: Effective Operator Engagement with Variable Autonomy. In: 2nd SEAS DTC Technical Conference, 2007. Edinburg, UK

Hoekstra, J.M.; Van Gent, R.H.W.; Ruigrok, R.C.J., 2002: Designing for Safety: The „Free Flight“ Air Traffic Management Concept. In: Reliability Engineering and System Safety 75 (2002), S. 215–232

Jump, M.; Padfield, G.D.; White, M.D. et al., 2011: myCopter: Enabling Technologies for Personal Air Transport Systems, In: The Future Rotorcraft: Enabling capability through the application of technology. Royal Aeronautical Society, London, S. 1–15

Le Tallec, C.; Joulia, A., 2011: A Personal Plane Air Transportation System – The PPlane Project, In: SAE International Journal of Aerospace 4/2 (2011), S. 1281–1292

Lee, D.S.; Fahey, D.W.; Forster, P.M. et al., 2009: Aviation and Global Climate Change in the 21st Century. In: Atmospheric Environment 43 (2009), S. 3520–3537

London Assembly, 2006: London in a Spin – A Review of Helicopter Noise; http://www.caa.co.uk/docs/1346/helicopter_noise_report.pdf (download 11.4.14)

Markides, C., 2006: Disruptive Innovation: In Need of Better Theory. In: Journal of Product Innovation Management 23 (2006), S. 19–25

Meyer, S.; Decker, M.; Fleischer, T. et al., 2011: Deliverable D7.1 „Screening Report of Socio-technological Environment“, myCopter; <http://mycopter.eu/home/downloads.html> (download 9.4.14)

MyCopter Proposal, 2010: Enabling Technologies for Personal Aerial Vehicles, Seventh Framework Programme Transport – Aeronautics – Theme: AAT.2010.6.3-3 Personal Air Transport Systems

Roudstein, M., 2010: WP1: Operational Concepts – PPlane Survey 1st Round Results

SESAR Joint Undertaking, 2010a: Background on Single European Sky; <http://www.sesarju.eu/about/background> (download 11.11.11)

SESAR Joint Undertaking, 2010b: Business Trajectory/‘4D’Trajectory. Sesar Factsheet

Skinner I.; van Essen H.; Smokers, R. et al., 2010: Towards the Decarbonisation of EU’s Transport Sector by 2050, Final Report Produced Under the Contract ENV.C.3/SER/2008/0053 Between European Commission Directorate-General Environment and AEA

Technology plc; <http://www.eutransportghg2050.eu> (download 9.4.14)

Skyparks, o. J.: Automated Parking Solutions

SRU – Sachverständigenrat für Umweltfragen, 2008: Umweltgutachten 2008 des Sachverständigenrates für Umweltfragen. Unterrichtung durch die Bundesregierung. Berlin

WHO – World Health Organization, 2007: Night Noise Guidelines (NNGL) for Europe. In: European Centre for Environment and Health (Hg.). Bonn

Wiener Übereinkommen, 1968: Übereinkommen über den Straßenverkehr; <http://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19680244/index.html> (download 19.2.14)

Wiesenthal, T.; Leduc, G.; Cazzola, P. et al., 2011: Mapping Innovation in the European Transport Sector. An Assessment of R&D Efforts and Priorities, Institutional Capacities, Drivers and Barriers to Innovation. In: JRC Scientific and Technical Reports

Kontakt

Dipl.-Geoökol. Sarah Meyer-Soylu
 Institut für Technikfolgenabschätzung und
 Systemanalyse (ITAS)
 Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
 Karlstraße 11, 76133 Karlsruhe
 Tel.: +49 721 608-23993
 E-Mail: sarah.meyer@kit.edu

