

Svantje T. Kähler · Josina Johannsen · Katharina Goldberg
Tim Fraske · Ole Röntgen · Axel Czaya

Nachhaltigkeitsdimensionen urbaner Luftmobilität

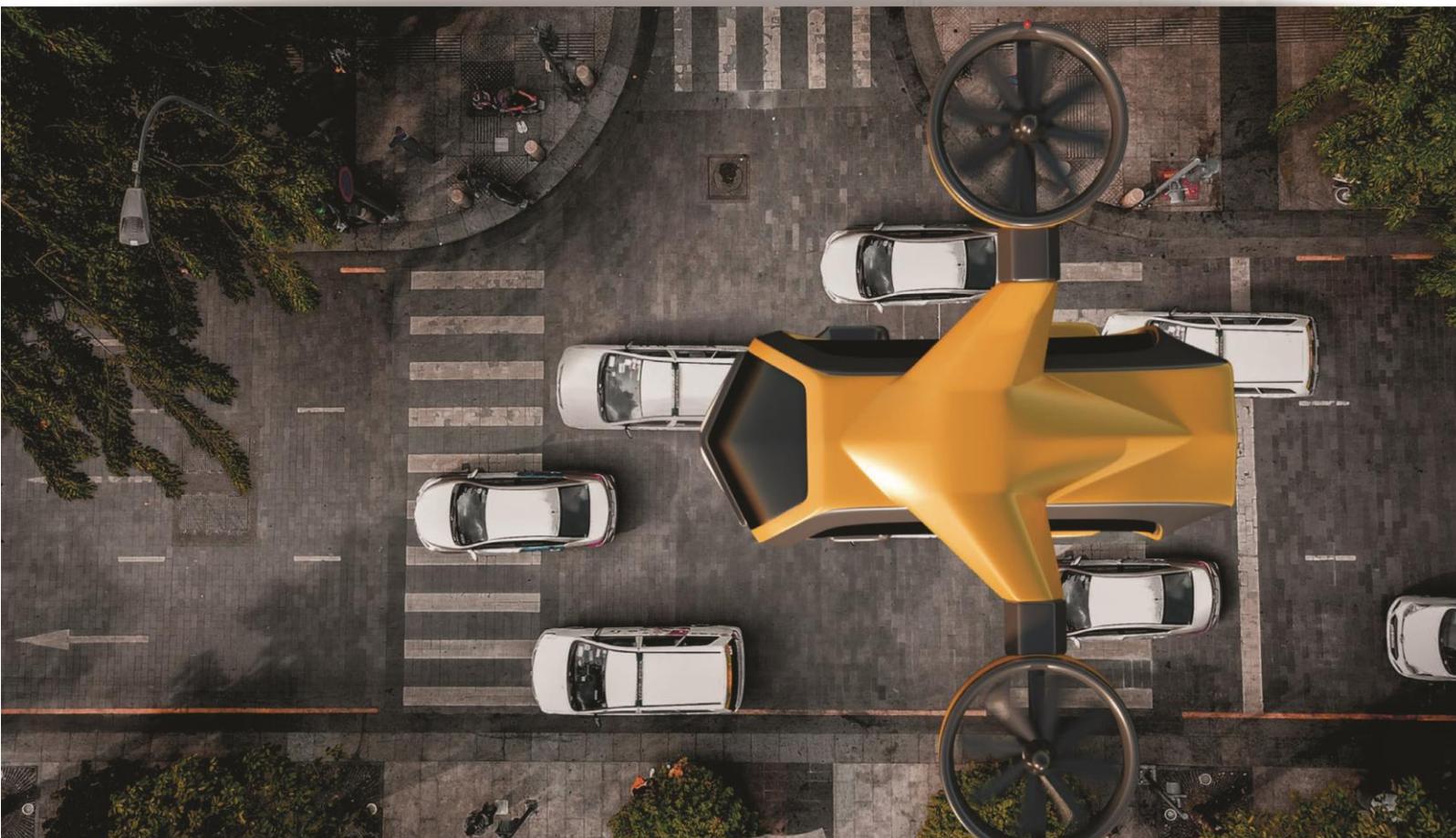
Abstractband

Tagung des Verbundprojekts
innovative Luftgestützte Urbane Mobilität (i-LUM)



i-LUM
Innovative Luftgestützte Urbane Mobilität

Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg · 27.04.2023



Digitale Version: ISBN 978-3-86818-328-3

DOI 10.24405/15262



Der Abstractband wird veröffentlicht durch:

i-LUM – Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg

21.12.2023

Herausgeber:innen:

Svantje T. Kähler, Josina Johannsen, Katharina Goldberg, Tim Fraske, Ole Röntgen, Axel Czaya

Adresse:

Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg, Holstenhofweg 85,
22043 Hamburg

E-Mail: kaehler@hsu-hh.de

Gestaltung Titelseite:

Michael Bölke, Medienzentrum, Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg

Bildnachweis Titelseite:

Institut für Flugzeug-Produktionstechnik, TU Hamburg (Denickestraße 17, 21073 Hamburg)

Inhalt

Vorwort	1
Einführung in den Begriff der Nachhaltigkeit	2
Svantje T. Kähler, Helmut-Schmidt-Universität/UniBW H, Professur für Allgemeine und Biologische Psychologie	
Josina Johannsen, Helmut-Schmidt-Universität/UniBW H, Professur für Öffentliches Recht, insbes. Öffentliches Wirtschafts- und Umweltrecht	
Axel Czaya, Helmut-Schmidt-Universität/UniBW H, Institut für Personal und Arbeit	
Katharina Goldberg, Helmut-Schmidt-Universität/UniBW H, Professur für Öffentliches Recht, insbes. Öffentliches Wirtschafts- und Umweltrecht	
Planung und Bewertung von Paketdistributionssystemen mit Drohnen	12
Thomas Kirschstein, Fraunhofer-Zentrum für Internationales Management und Wissensökonomie IMW	
Szenarioentwicklung für Urban Air Mobility	14
Tim Fraske, HafenCity Universität Hamburg, Digital City Science	
Ole Röntgen, Technische Universität Hamburg, Institut für Verkehrsplanung und Logistik	
Daniel Kloock-Schreiber, Technische Universität Hamburg, Institut für Lufttransportsysteme	
Rechtliche Vorgaben und Spielräume zur Nachhaltigkeit im (Luft-) Verkehr	18
Dana-Sophia Valentiner, Universität Rostock, Juniorprofessur für Öffentliches Recht	
A critical perspective on the sustainability of Urban Air Mobility	21
Anna Straubinger, ZEW – Leibniz Centre for European Economic Research	
Julia Schaumeier, Bauhaus Luftfahrt e.V.	
Urban Air Mobility gemeinwohlorientiert planen	24
Tobias Biehle, Fachgebiet Arbeitslehre, Technik und Partizipation, Technische Universität Berlin	
Da ist Luft nach oben: Soziale und nachhaltige Personenbeförderung aus juristischer Perspektive	27
Deike Tamm, ehem. Frankfurt University of Applied Sciences	
Regulationserfordernisse für den nachhaltigen Betrieb von unbemannten Luftfahrzeugen	30
Hinnerk Eißfeldt, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für Flugführung FL-SEG	
Conclusio	34
Svantje T. Kähler, Helmut-Schmidt-Universität/UniBW H, Professur für Allgemeine und Biologische Psychologie	
Josina Johannsen, Helmut-Schmidt-Universität/UniBW H, Professur für Öffentliches Recht, insbes. Öffentliches Wirtschafts- und Umweltrecht	
Axel Czaya, Helmut-Schmidt-Universität/UniBW H, Institut für Personal und Arbeit	
Katharina Goldberg, Helmut-Schmidt-Universität/UniBW H, Professur für Öffentliches Recht, insbes. Öffentliches Wirtschafts- und Umweltrecht	

Vorwort

Der Abstractband beinhaltet Abstracts zu den Vorträgen, die am 27. April 2023 im Rahmen der Tagung „Nachhaltigkeit Urbaner Luftmobilität“ an der Helmut-Schmidt-Universität/Universität der Bundeswehr Hamburg gehalten wurden. Die Tagung wurde im Rahmen des Projektes „i-LUM“ („innovative luftgestützte urbane Mobilität“, gefördert durch die Behörde für Wissenschaft, Forschung, Gleichstellung und Bezirke (BWFGB) der Freien und Hansestadt Hamburg), durchgeführt.

Die Herausgeber:innen möchten herzlich Professor Dr. Alexander Fay für die großzügige Unterstützung der Tagung danken. Dank gebührt auch Professor Dr. Carsten Gertz, Professor Dr. Volker Gollnick, Professor Dr. Thomas Jacobsen, Professor Dr. Wenzel Matiaske, Professor Dr. Jörg Noenning, sowie Professorin Dr. Margarete Schuler-Harms. Für die Unterstützung bei der Durchführung der Tagung möchten wir uns zudem bei dem Medienzentrum der Helmut-Schmidt-Universität, dem Veranstaltungsmanagement sowie der Offizierheimgesellschaft der Helmut-Schmidt-Universität bedanken. Die Durchführung der Tagung wäre außerdem nicht ohne die Unterstützung durch unsere studentischen und soldatischen Mitarbeitenden sowie unseren Projektkolleg:innen, allen voran Daniel Kloock-Schreiber und Jil Eltgen, möglich gewesen, bei denen wir uns ebenfalls herzlich bedanken.

Zuletzt gebührt allen Teilnehmenden Dank für den bereichernden und intensiven Austausch.

Die Herausgeber:innen

Einführung in den Begriff der Nachhaltigkeit

Swantje T. Kähler, Helmut-Schmidt-Universität/UniBW H, Professur für Allgemeine und Biologische Psychologie

Josina Johannsen, Helmut-Schmidt-Universität/UniBW H, Professur für Öffentliches Recht, insbes. Öffentliches Wirtschafts- und Umweltrecht

Axel Czaya, Helmut-Schmidt-Universität/UniBW H, Institut für Personal und Arbeit

Katharina Goldberg, Helmut-Schmidt-Universität/UniBW H, Professur für Öffentliches Recht, insbes. Öffentliches Wirtschafts- und Umweltrecht

Nachhaltigkeit, auch bekannt unter ihrem englischen Synonym „Sustainability“, ist in der Politik, Forschung und Wirtschaft zu einem unverzichtbaren Begriff der Ziel- bzw. Strategiedefinition und Handlungsgestaltung geworden. Nicht zuletzt zeigt der sechste Sachstandsbericht des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) unmissverständlich auf, welche Dringlichkeit dieses Thema besitzt (IPCC, 2023). Jedoch deutet bereits die Bandbreite der 17 Nachhaltigkeitsziele der World Health Organization (WHO, 2023), welche auch von der Bundesrepublik übernommen wurden, darauf hin, welche Komplexität das Thema hat, möchte man eine nachhaltige Zukunft schaffen. Hierbei handelt es um einen tiefgreifenden Transformationsprozess, der alle gesellschaftlichen Teilbereiche umfasst und nicht zuletzt auch neue Mobilitätsformen betrifft, die sich an den vorherrschenden ambitionierten Nachhaltigkeitszielen, wie sie etwa im Green Deal der Europäischen Union (EU) niedergelegt sind, messen lassen müssen. Das gilt auch für die Urban Air Mobility (UAM), das heißt den Transport von Gütern mit Drohnen bzw. Personen mit eVTOLs bzw. Air Taxis im urbanen Luftraum, deren Zukunftsversprechen nicht zuletzt in ihrer Nachhaltigkeit besteht.

Die Autor:innen dieser Einleitung lehnen sich der folgenden Definition des Begriffs ‚Urban Air Mobility‘ an: *UAM is a safe, secure and sustainable air transportation system for passengers and cargo in urban environments, enabled by new technologies and integrated into multimodal transportation systems. The transportation is performed by electric aircraft taking off and landing vertically, remotely piloted [...] or with a pilot on board* (CORUS-XUAM, 2022, S. 69). ‚Drohne‘ bildet den umgangssprachlichen Begriff für ‚Unmanned Aerial Vehicle‘ (UAV), das heißt unbemannte, (zumeist) elektrisch betriebene Fluggeräte, die neben der besagten Transportfunktion insbesondere der sensorbasierten Datensammlung dienen oder mittels verschiedener Effektmodule wie z.B. Lautsprechern, Sprüh- oder Streuvorrichtungen, aber auch Waffensystemen, in unterschiedlicher Weise Einfluss auf ihre Umwelt ausüben. Die Begriffe ‚eVTOL‘ (was für „electric Vertical Take-Off and Landing“ steht) und ‚Air Taxi‘ werden weithin synonym für Fluggeräte verwendet, die einerseits Designcharakteristika von Drohnen aufweisen (z.B. die besagten elektrischen Antriebe oder die Fähigkeit, vertikal starten und landen zu können) und andererseits für den Transport von Personen ausgelegt sind.

Die obige Definition der Urban Air Mobility¹ bildet hier zwar eine gute Ausgangsbasis, weist aber ein für die UAM-Community nicht untypisches Defizit auf, nämlich Nachhaltigkeit vorauszusetzen, ohne dass klar ist, ob und wenn ja, wie und in welchem Ausmaß dieses Versprechen tatsächlich eingelöst wird. Genau dies aber ist der Diskussionsgegenstand dieses Abstractbandes.² Dabei liegt die Nachhaltigkeit dieses neuen Verkehrskonzepts nicht direkt auf der Hand, sondern erscheint begründungsbedürftig. Hierzu sollte die Tagung „Nachhaltigkeitsdimensionen Urbaner Luftmobilität“ im April 2023, verkörpert auch durch diesen Abstractband, einen Beitrag leisten: Erste Fragen wurden aufgeworfen, Methoden vorgestellt und in einem interdisziplinären Dialog Ideen und mögliche Antworten entwickelt.

Zunächst war der Tagung aber eine Definition des vielschichtigen Begriffs „Nachhaltigkeit“ voranzustellen, um für die Teilnehmenden aus unterschiedlichen Disziplinen eine gemeinsame Gesprächsgrundlage zu schaffen.

I. Einleitung

Nähert man sich dem Nachhaltigkeitsbegriff über die wissenschaftliche Literatur, findet man eine breite und teilweise weit zurückreichende Diskussion zum Begriff der Nachhaltigkeit (z.B. Johnston et al., 2007), inklusivere oder ganzheitlichere Begriffsdefinitionen (z.B. Virtanen et al., 2020; Moore et al., 2017), Artikel über die Nachhaltigkeitsdebatte (Wilkinson & Hill, 2001) sowie Reviews zum Nachhaltigkeitsbegriff (z.B. Glavič & Lukman, 2007). Artikel wie „Sustainability: I know it when I see it“ (White, 2013) oder „Is there a meaningful definition of sustainability?“ (Owens, 2003) lassen erahnen, dass es eine Herausforderung in der wissenschaftlichen Betrachtung der Nachhaltigkeit gibt: Was ist eigentlich Nachhaltigkeit und wie können wir sie operationalisieren, um wissenschaftlich damit arbeiten zu können?

II. Der Begriff der Nachhaltigkeit im allgemeinen Sprachgebrauch

Tritt man einen Schritt zurück und betrachtet die Wortbedeutung des Begriffs Nachhaltigkeit bzw. Sustainability im allgemeinen Sprachgebrauch, findet man im Cambridge Dictionary³ folgende Beschreibung des Wortes sustain: „to cause or allow something to continue for a period of time“ und „to keep alive“. Etwas soll daher über einen Zeitraum

¹ Auch wenn vermehrt Begriffe wie „Advanced Air Mobility“ (AAM) oder „Innovative Air Mobility“ (IAM), die insbesondere über den räumlichen Bezug der Urban Air Mobility hinausdeuten, Verwendung finden, sei im Rahmen dieses Beitrags dennoch weiterhin von letzterer bzw. von urbaner Luftmobilität die Rede, da das Projekt i-LUM einen dezidierten Bezug zur Stadt Hamburg aufweist, also zu einem spezifischen urbanen Raum.

² Weitere Zukunftsversprechen der UAM bestehen in ihrem wirtschaftlichen Wachstumspotential, das diverse Marktanalysen prognostizieren (siehe z.B. KPMG (2022) für eine Analyse der Marktpotentiale von eVTOLS und Butterworth-Hayes (2023, S. 9) für einen Überblick über die Wachstumsprognosen unterschiedlicher Marktstudien für den UAV-Bereich). Die UAM werde ihren Befürwortern zufolge (vgl. etwa UIC2, 2021, S. 66), ein breites Spektrum neuer Mobilitäts-Dienstleistungen und neue Märkte erschließen, die Innovationskraft von UAM-Standorten fördern (etwa durch die Ansiedelung von Startups und die Intensivierung lokaler Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten), und neue Arbeitsplätze hohen Qualifizierungsgrades schaffen. Weiterhin werde die UAM durch die Verlagerung eines Anteils des Güter- und Personenverkehrs in die dritte Dimension die Fläche entlasten und zu einem neuen, fortschrittlichen Mobilitätsmix beitragen, der urbanen Mobilitätsbedürfnissen besser entspricht.

³ Siehe <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/sustain> (letzter Abruf: 04.12.2023).

bestehen können oder ganz einfach „überleben“. Der deutsche Begriff „Nachhaltigkeit“ wird im Duden⁴ auf die erste Bedeutung eingeschränkt und anschließend auf eine ökologische Sichtweise erweitert: „längere Zeit anhaltende Wirkung“ und „Prinzip, nach dem nicht mehr verbraucht werden darf, als jeweils nachwachsen, sich regenerieren und künftig wieder bereitgestellt werden kann“. In beiden Sprachen wird daher die Ausrichtung darauf, etwas über einen längeren Zeitraum bestehen zu lassen, es überlebensfähig zu machen, betont. Im Duden wird auch schon die Verbindung zur Ökologie hergestellt.



Abbildung 1: Typische Verbindungen (computergeneriert) ‚Nachhaltigkeit‘ (Duden Online, 2023)

Eine computergenerierte Häufigkeitsverteilung von typischen Wortverbindungen mit dem Begriff Nachhaltigkeit wird vom Duden in einer Wortwolke visualisiert (s. Abbildung 1). Bei Betrachtung dieser Wortwolke fallen Begriffe auf, die auch in (wissenschaftlichen) Definitionen und Modellen zu finden sind. Hierbei sind Begriffe wie Ökologie, Umweltschutz und Klimaschutz, aber auch Begriffe wie Ökonomie bzw. Wirtschaftlichkeit, sowie Gerechtigkeit, Generationengerechtigkeit, Soziales und Gesundheit zu nennen.

III. Nachhaltigkeit in der Rechtswissenschaft

Auch die Rechtswissenschaft als Textwissenschaft hat sich mit dem Begriff der Nachhaltigkeit auseinandergesetzt. Ähnlich wie andere Wissenschaften tut sich auch die Rechtswissenschaft mit einer einheitlichen Begriffsdefinition schwer: Der Begriff taucht zwar häufig in Rechtstexten auf, eine Legaldefinition findet sich jedoch nicht.

Im Recht der europäischen Union ist zunächst festgehalten, dass alle Unionspolitiken und -maßnahmen die Erfordernisse des Umweltschutzes mit dem Ziel einer nachhaltigen Entwicklung einbezogen werden müssen (Art. 11 des Vertrags über die Arbeitsweise der

⁴ <https://www.duden.de/rechtschreibung/Nachhaltigkeit> (letzter Abruf: 04.12.2023).

Europäischen Union – AEUV). In der Literatur besteht weitestgehend Einigkeit, dass Nachhaltigkeit hier weit verstanden wird und nicht nur Umweltschutz, also die ökologische Nachhaltigkeit umfasst, sondern auch wirtschaftliche und soziale Belange.⁵ Spezifische Vorgaben für die Umweltpolitik enthält etwa Art. 191 AEUV, allerdings ebenfalls ohne den Begriff der Nachhaltigkeit weiter zu spezifizieren.⁶ Auch in bereichsspezifischen Normen des Sekundärrechts, beispielsweise die Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie (RL 92/43/EWG), findet sich keine Definition des zugrundeliegenden Nachhaltigkeitsverständnisses.

Auch im nationalen Recht finden sich keine Definitionen, dennoch ist auch hier ein dreidimensionales Begriffsverständnis erkennbar. Nachhaltigkeit im Grundgesetz findet sich etwa bei der Staatszielbestimmung Natur- und Tierschutz in Art. 20a GG. Daneben lässt sich die soziale Nachhaltigkeit im Sozialstaatsprinzip des Art. 20 Abs. 1 GG verorten. Dem Ziel der wirtschaftlich finanziellen Nachhaltigkeit dient beispielsweise die Schuldenbremse, Art. 109 Abs. 3, Art. 115 Abs. 2 GG. Auch auf einfach-gesetzlicher Ebene finden sich Beispiele für den dreidimensionalen Nachhaltigkeitsbegriff. Bei der räumlichen Planung sollen die aufzustellenden Bauleitpläne eine nachhaltige städtebauliche Entwicklung gewährleisten, die die sozialen, wirtschaftlichen und auch umweltschützenden Anforderungen miteinander in Einklang bringt, § 1 Abs. 5 S. 1 Baugesetzbuch (BauGB).⁷ Auch im Privatrecht finden sich Bestimmungen zur Nachhaltigkeit, etwa im Bereich des Gesellschaftsrecht im Rahmen der Corporate Social Responsibility oder der Environment Social Governance.⁸

Nachhaltigkeit taucht damit in Normtexten auf allen Ebenen und in verschiedenen Rechtsgebieten auf. Die stets fehlende Begriffsdefinition ist dabei für die flexible Auslegung des Begriffs durchaus sinnvoll: Denn Nachhaltigkeit wird häufig als Grundsatznorm, Querschnittsaufgabe oder Prinzip verwendet, nicht als konkrete Regel im Sinne eines Ge- oder Verbots. Vielmehr handelt es sich in erster Linie um einen Auftrag an Gesetzgeber, Verwaltung und Gerichte, Nachhaltigkeit bei der Ausfüllung von Entscheidungsspielräumen zu berücksichtigen.⁹ Auch im unbemannten Luftverkehr ist damit die Nachhaltigkeit zu berücksichtigen, wenn es etwa um die Anpassung des deutschen Rechts an die europäische U-Space-Verordnung geht.¹⁰

IV. Dreidimensionaler Nachhaltigkeitsbegriff: Vom Dreisäulen- zum Daisy-Modell

Die drei Dimensionen soziale, ökologische und ökonomische Nachhaltigkeit finden ihren Ursprung im sog. Dreisäulenmodell. Dieses Modell tauchte in den 1990er Jahren in der Forschung und politischen Diskussion auf. Es stellt die Nachhaltigkeit auf die Säulen der Ökologie, des Sozialen sowie der Ökonomie. Franz (2022), ein promovierter

⁵ Kahl, in: Streinz, EUV/AEUV, 3. Aufl. 2018, AEUV Art. 11 Rn. 19 f.

⁶ Nettesheim, in: Grabitz/Hilf/Nettesheim, 77. EL September 2022, AEUV Art. 191 Rn. 123.

⁷ Zu diesem Absatz Kahl, in: Görres Gesellschaft, Staatslexikon, 8. Aufl. 2020, Band 2, Nachhaltigkeit.

⁸ Kockrow/Zypries, Unternehmerische und staatliche Nachhaltigkeit, ZRP 2021, 13, 13 f.

⁹ Kahl, in: Görres Gesellschaft, Staatslexikon, 8. Aufl. 2020, Band 2, Nachhaltigkeit.

¹⁰ Siehe näher dazu den Vortrag von Valentiner sowie Valentiner/Johannsen, Nachhaltigkeit im Luftverkehrsrecht – Steuerungsperspektiven für die U-Space-Gesetzgebung zum urbanen Drohnenverkehr, NVwZ 2023, 1863, 1863 ff.

Informationstechniker und Philosoph, beschreibt dieses Modell als populär, jedoch umstritten. Es ist augenscheinlich, also auf den ersten Blick gültig, und leicht zu merken. Bei genauerer Betrachtung fehlen jedoch praktische Konsequenzen, was unter anderem darauf zurückzuführen ist, dass das Modell keine Operationalisierung der Dimensionen vorsieht und die Dimensionen ihrerseits auslegungsbedürftig sind.

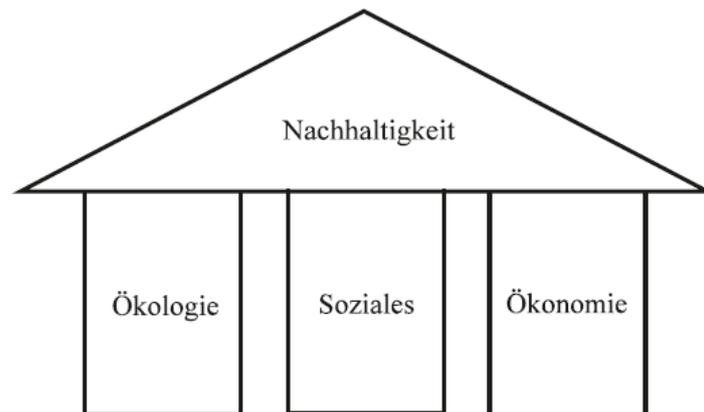


Abbildung 2: Das Dreisäulenmodell der Nachhaltigkeit (Franz, 2022, S.16).

Wissenschaftstheoretisch gesehen ist jedoch die Operationalisierung – also das Messbarmachen von Konstrukten – die Grundlage zur Überprüfung von Hypothesen und daher von zentraler Bedeutung. Ein speziell für den Kontext der Mobilität entwickeltes Modell mit Indikatoren wurde von der EU-Kommission¹¹ und von Dobranskyte-Niskota et al. (2009) entwickelt. Das fünfdimensionale Modell (das an ein Gänseblümchen erinnert, daher Daisy-Modell) definiert die Dimensionen Umwelt, Soziales, Ökonomie, Institutionen und Technologie/Operation. Die relevante wissenschaftliche Arbeit folgte jedoch danach; die Dimensionen werden jeweils durch zwei bis fünf Themen beschrieben, die wiederum durch einen bis neun Indikatoren operationalisiert werden. Als Beispiel wurde das Thema Auswirkungen auf die Umweltressourcen unter der Dimension Ökologie durch die Indikatoren „Störung von Lebensraum und Ökosystem“ und „Flächeninanspruchnahme nach Verkehrsträgern“ operationalisiert. Das Thema Technologiestatus unter der Dimension Technik und Operation wird durch die Indikatoren „Durchschnittliches Flottenalter“, „Größe der Fahrzeugflotte (Fahrzeuge pro 1 Million Einwohner)“ und „Anteil der Fahrzeugflotte, die bestimmte Luftemissionsnormen erfüllt (Euro IV, Euro V usw.)“ operationalisiert. Das Thema Erreichbarkeit und Mobilität der sozialen Dimension wird durch die Indikatoren „Qualität des Verkehrs für benachteiligte Personen (Behinderte, Geringverdiener, Kinder)“, „Persönliche Mobilität (tägliche oder jährliche Personenkilometer und Fahrten nach Einkommensgruppen)“, „Erreichbarkeit und Mobilität“ sowie „Fahrgastaufkommen“ operationalisiert.¹²

¹¹ Europäische Kommission, EUR 23041 EN/2 – 2009.

¹² Die vollständige Tabelle finden Sie auf Seite 14 ff. in Dobranskyte-Niskota et al. (2009, <https://doi.org/10.2788/46618>).

V. Das Daisy-Modell im Kontext von UAM

Obwohl diese Systematisierung für den Einsatz im Kontext der UAM überarbeitet werden müsste, lassen sich daraus die fehlenden Konsequenzen und Operationalisierungen des Dreisäulenmodells überwinden. Somit kann nicht nur der Kritik von Franz (2022) entgegengewirkt werden, dass das Dreisäulenmodell die für ein Wissenschaftsmodell obligatorische Operationalisierbarkeit verfehlt. Im Daisy-Modell wird auch berücksichtigt, dass Nachhaltigkeit kein Zweck, sondern ein Mittel sein soll. So können beispielsweise Emissionen, Energieverbrauch (ggf. im Vergleich), die Verdrängung von Lebensraum, Flottengröße, die Pro-Kopf-Gesamtausgaben für den Verkehr, Investitionen, Infrastruktur, chronische Erkrankungen aufgrund von Lärm oder Verkehrsunfällen oder die Zugänglichkeit für verschiedene Gruppen direkt oder indirekt gemessen, verglichen und bei einer schlechten Bewertung idealerweise verbessert werden. Im Falle der UAM, welche zurzeit auf dem Reißbrett geplant wird, besteht im Idealfall sogar die Möglichkeit, die Indikatoren nachhaltiger Mobilitätssysteme von Anfang an einzuplanen.

Wenn in der UAM-Community bzw. in den diversen Veröffentlichungen zur UAM auf die Nachhaltigkeit abgestellt wird (und das ist sehr häufig der Fall, handelt es sich doch um eines der Zukunftsversprechen der UAM), bezieht sich dies in der Regel auf die ökologische Nachhaltigkeit des Flugbetriebes von Drohnen und eVTOLs. Diese werden in den überwiegenden Fällen durch Elektromotor-Propellereinheiten angetrieben, die in diversen unterschiedlichen Konfigurationen Eingang in die jeweiligen Designentwürfe finden.¹³ Als Energiespeicher dienen hierbei neben Batterien auch Brennstoffzellen, die ihre Antriebsenergie durch Rückverstromung von Wasserstoff zur Verfügung stellen. Diese Antriebsform gewährleistet, etwa im Gegensatz zu herkömmlichen Verbrennungsmotoren, lokale Emissionsfreiheit und kann das Prädikat ‚nachhaltig‘ dann für sich in Anspruch nehmen, wenn sein Treibstoff, also elektrischer Strom, aus nachhaltigen Quellen wie Windkraft- oder Photovoltaikanlagen stammt.¹⁴

Die Orientierung der UAM-Community an der Nachhaltigkeit des Flugbetriebs (der sich nebenbei bemerkt auch in der konventionellen Luftfahrt findet, hier stehen zurzeit CO₂-neutrale „Sustainable Aviation Fuels“ (SAFs) aber auch wasserstoffbasierte Lösungen im Mittelpunkt der Aufmerksamkeit) bietet den Vorteil, dass Produzenten von Drohnen und eVTOLs kaum mehr leisten müssen, als Batterie- und Wasserstofftechnologien zu verbauen, die dem Stand der Technik entsprechen. Wie nachhaltig der Flugbetrieb letztlich ist, hängt davon ab, welche Fortschritte diese Technologien machen (z.B. in Hinblick auf die Energiedichte oder die Nachhaltigkeit ihrer Herstellung) und wie nachhaltig der Strom bzw.

¹³ Einen Überblick über die diversen Designentwürfe von Drohnen und Air Taxis geben Websites wie AeroExpo (<https://www.aeroexpo.online/de/luftfahrt-hersteller/drohne-transport-569.html>), Drohnen.de (<https://www.drohnen.de/>) oder TransportUP (<https://transportup.com/the-hangar/>), jeweils letzter Abruf: 04.12.2023.

¹⁴ Es existieren auch Drohnen, die mit herkömmlichen Verbrennungsmotoren angetrieben werden und für größere Reichweiten und Nutzlasten ausgelegt sind als elektrisch angetriebene Drohnen (siehe z.B. die ULTRA-Drohne der Firma Windracers (<https://windracers.com/drones/>), letzter Abruf: 04.12.2023). Nicht zuletzt besteht auch die Möglichkeit, Wasserstoff als Treibstoff in Verbrennungsmotoren einzusetzen.

Wasserstoff ist, der von außen in die UAM-Domäne eingespeist wird. Hierdurch setzt die UAM-Community Kapazitäten frei, anderen drängenden Herausforderungen zu begegnen, die für den Erfolg der UAM z.T. notwendige Bedingungen sind. Dies sind z.B. Fragen der technologischen und regulativen Integration der UAM in gegebene Struktur- und Systemzusammenhänge, des Risk Assessments und der Zertifizierung von Drohnen und eVTOLs, der Entwicklung markttauglicher Business Cases und Dienstleistungen oder der Akzeptanz der UAM durch die Bevölkerung.

Erweitert man indes den Nachhaltigkeitsbegriff entlang der Nachhaltigkeitsdimensionen, die durch das Dreisäulen- bzw. Daisy-Modell über die ökologische Nachhaltigkeit hinaus aufgespannt werden, zeigen sich unmittelbar die Defizite des hier skizzierten engen Nachhaltigkeitsverständnis der UAM-Community. Bereits die Evaluierung von Drohnen und eVTOLs in den Kategorien der Kreislaufwirtschaft bzw. des Produktlebenszyklus wirft unmittelbar Fragen auf, die etwa die Rohstoffgewinnung, die Produktion, die Werthaltigkeit, das Recyceln oder die Entsorgung der entsprechenden Fluggeräte und Systemkomponenten anbetreffen. Beispielsweise sind Drohnen und insbesondere eVTOLs konsequent auf Leichtbau ausgelegt, wobei hochentwickelte, hochintegrierte Materialien verwendet werden. Dies ist zwar innovativ, kann aber allerdings beim Recycling dieser Fluggeräte, etwa bei der Zerlegung von Verbundwerkstoffen in ihre Bestandteile, Probleme verursachen.¹⁵

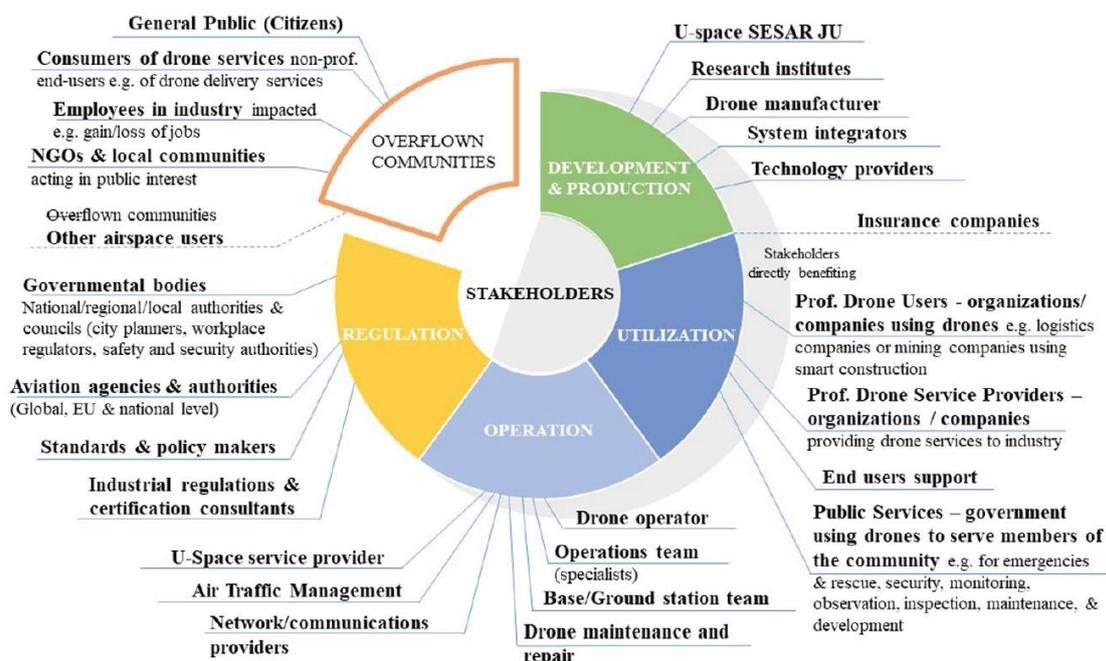


Abbildung 3: Rahmenmodell der Drohnenutzer-Stakeholder. (Upadrasta et al., 2022, S. 574).

¹⁵ Derartige Probleme zeichnen sich gegenwärtig beim Recyceln von Windkraftanlagen, die das Ende ihrer Nutzungsdauer erreicht haben, ab (vgl. z.B. Ilina, 2023).

Im Sinne einer nachhaltigen und somit überlebensfähigen luftgestützten Mobilität bedarf es einer beträchtlichen Integrationsleistung und insbesondere der Mitwirkung aller Akteure des Systems (für eine Übersicht siehe Abb. 3, Upadrasta et al., 2022). Die Dringlichkeit, Systeme auf eine langfristige Betriebsfähigkeit auszurichten, ist mittlerweile auf politischer, wirtschaftlicher und wissenschaftlicher Ebene ins Bewusstsein gerückt. Alle Akteure eines Systems sind darauf angewiesen, dass dieses von Anfang an nachhaltig, also überlebensfähig geplant ist. Dies beinhaltet, dass Infrastruktur bestehen muss, damit der Flugbetrieb reibungslos gewährleistet wird und die Fahrgäste oder Transportauftraggeber das System zweckdienlich nutzen können. Ebenso müssen die Institutionen und Regulierungsorgane zur Überlebensfähigkeit des Systems im Rahmen ihres jeweiligen Kompetenzbereiches beitragen. Die Entwickler:innen und Produzent:innen benötigen stabile Rahmenbedingungen und klare Perspektiven, um innovativ und ökonomisch zu handeln. Das System muss auf die Bedürfnisse der Nutzer und der Gesellschaft ausgerichtet sein, die durch den Betrieb beeinflusst werden, ebenso wie auf den Lebensraum von Menschen und Tieren sowie auf die verfügbaren Ressourcen und Umwelteinflüsse.

Die multidisziplinäre Ausrichtung des Forschungsverbunds i-LUM ist daher darauf ausgelegt, UAM aus verschiedenen Perspektiven zu betrachten, um von Anfang an umfassend Dimensionen und Stakeholder miteinzubeziehen, entsprechend der Grundaussagen des Daisy-Modells. Nicht nur die technisch-ingenieurwissenschaftlichen Perspektiven sollen im Fokus stehen, sondern auch Verkehrsplaner:innen, Psycholog:innen, Ökonom:innen und Jurist:innen betrachten die Problemstellung, um das Gesamtsystem überlebensfähig zu denken. In der Gesamtszenarioentwicklung sollen durch einen iterativen Prozess Faktoren aus allen Fachdisziplinen gesammelt, geclustert, auf Interdependenzen bewertet und schließlich in ein Gesamtszenario überführt werden. Im Rahmen des Forschungsverbundes i-LUM entstehen außerdem Arbeiten zur gesellschaftlichen Akzeptanz, zum Energiemanagement, zu verschiedenen Fragen der juristischen Regelung von U-Spaces und UAM, zur Flugroutenplanung, zur Planung der Flottenbeschaffenheit, zur Bedarfsanalyse und viele mehr. Eine Implementierung von unbemannten Luftsystemen in U-Spaces profitiert daher vor allem in Bezug auf eine überlebensfähige, also nachhaltige, Entwicklung von diesen multidisziplinären Ansätzen.

Vor diesem Hintergrund stellt der Abstractband die Vorträge von Wissenschaftler:innen und Fachleuten aus der Verkehrsplanung (Dr. Philine Gaffron – kein Abstract, Dr. Anna Straubinger, Dr. Tim Fraske, Ole Röntgen), der Soziologie (Tobias Biehle), der Psychologie (Dr. Hinnerk Eißfeldt), den Rechtswissenschaften (Prof. Dr. Dana Valentiner, Deike Tamm), den Wirtschaftswissenschaften (Dr. Thomas Kirschstein), dem Ingenieurwesen (Daniel Kloock-Schreiber) sowie der Urban Air Mobility Community (Vassilis Agouridas – kein Abstract) dar und soll somit die Möglichkeit der Anknüpfung des (wissenschaftlichen) Diskurses der verschiedenen Dimensionen der Nachhaltigkeit im Kontext von UAM bieten.

Referenzen

- Butterworth-Hayes, P. (2023): The Market for UAV Traffic Management Services – 2024-2028. Edition 6.2, Unmanned Airspace: Hove, UK.
- Dobranskyte-Niskota, A., Perujo, A., Jesinghaus, J. & Jensen, P. (2009). Indicators to Assess Sustainability of Transport Activities. Part 2: Measurement and Evaluation of Transport Sustainability Performance in the EU27. Institute for Environment and Sustainability: Ispra, Italy. <https://doi.org/10.2788/46618>.
- Franz, J. H. (2022). Nachhaltige Entwicklung technischer Produkte und Systeme: Der Ingenieurberuf im Wandel. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Glavič, P. & Lukman, R. (2007). Review of sustainability terms and their definitions. *Journal of cleaner production*, 15(18), 1875-1885.
- Iliina, A. (2023). Recycling von Windkraftanlagen: Es gibt ein Problem. *Ingenieur.de*. Abgerufen am 15.12.2023 von <https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/energie/recycling-von-windkraftanlagen-loesungsansaeetze-zwischen-standards-und-kreativitaet/>.
- IPCC (2023). AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023. Abgerufen am 13. Oktober 2023 von <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>.
- Johansen, J. (2023). Schall und Rauch: Lärmsteuerung im urbanen Verkehr der Zukunft. In: Valentiner, D.-S. (Hrsg.). *Klimaschutz und Städte: Herausforderungen und Potentiale des öffentlichen Rechts*. Tagungsband zum JuWissDay 2022 (pp. 189-210). Baden-Baden: Nomos.
- Johnston, P., Everard, M., Santillo, D. & Robèrt, K. H. (2007). Reclaiming the definition of sustainability. *Environmental science and pollution research international*, 14(1), 60-66.
- Kahl, W. Art. 11 AEUV (2018). In: Streinz, EUV/AEUV Kommentar, 3. Aufl. 2018. München: C.H.Beck.
- Kahl, W. Nachhaltigkeit – Rechtlich (2020). In: Görres Gesellschaft, *Staatslexikon*, 8. Aufl. 2020. Freiburg im Breisgau: Herder.
- Kähler, S. T., Abben, T., Luna-Rodriguez, A., Tomat, M. & Jacobsen, T. (2022). An assessment of the acceptance and aesthetics of UAVs and helicopters through an experiment and a survey. *Technology in Society*, 71, 102096.
- Kockrow, M. & Zypries, B. (2021). Unternehmerische und staatliche Nachhaltigkeit – Politische Handlungsfelder. *Zeitschrift für Rechtspolitik*, 2021, 13-15.
- Mavraj, G., Eltgen, J., Fraske, T., Swaid, M., Berling, J., Röntgen, O., Fu, Y. & Schulz, D. (2022). A Systematic Review of Ground-Based Infrastructure for the Innovative Urban Air Mobility. *Transactions on Aerospace Research*, 2022(4), 1-17.
- Moore, J. E., Mascarenhas, A., Bain, J. & Straus, S. E. (2017). Developing a comprehensive definition of sustainability. *Implementation Science*, 12(1), 1-8.
- Nettesheim, M. Art. 191 AEUV (2023). In: Grabitz, E., Hilf, M. & Nettesheim, M. (Hrsg.). *Das Recht der Europäischen Union: EUV/AEUV*, 79. Ergänzungslieferung 2023. München: C.H.Beck.
- Pertz, J., Niklaß, M., Swaid, M., Gollnick, V., Kopera, S., Schunck, K. & Baur, S. (2023). Estimating the Economic Viability of Advanced Air Mobility Use Cases: Towards the Slope of Enlightenment. *Drones*, 7(2), 75.
- UIC2 – The Urban-Air-Mobility Initiative Cities Community of the EU's Smart Cities Marketplace (2021): *Urban Air Mobility and Sustainable Urban Mobility Planning – Practitioner Briefing*. GD Mobilität und Verkehr: Brüssel.
- Upadrasta, V., Hamdan, J., Leitner, R. & Kolrep, H. (2022). Who Are the Stakeholders of Drone Use? Roles, Benefits, Risk Perceptions, and Solutions. In: Ahram, T. & Taiar, R. (Hrsg.). *Human Interaction, Emerging Technologies and Future Systems V: Proceedings of the 5th International Virtual Conference on Human Interaction and Emerging Technologies, IHiet 2021, August 27-29, 2021 and the 6th IHiet: Future Systems (IHiet-FS 2021), October 28-30, 2021, France* (pp. 572-579). Springer International Publishing.
- Valentiner, D.-S. & Johannsen, J. (2023). Nachhaltigkeit im Luftverkehrsrecht – Steuerungsperspektiven für die U-Space-Gesetzgebung zum urbanen Drohnenverkehr. *Neue Zeitschrift für Verwaltungsrecht (NVwZ)* 2023, 1863-1869.
- Virtanen, P. K., Siragusa, L. & Guttorm, H. (2020). Introduction: Toward more inclusive definitions of sustainability. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 43, 77-82.
- WHO (2023). Sustainable Development Goals. Abgerufen am 13. Oktober 2023 von <https://www.who.int/europe/about-us/our-work/sustainable-development-goals>.

- Wilkinson, A., Hill, M. & Gollan, P. (2001). The sustainability debate. *International Journal of Operations & Production Management*, 21(12), 1492-1502.
- White, M. A. (2013). Sustainability: I know it when I see it. *Ecological Economics*, 86, 213-217.
- Owens, S. (2003). Is there a meaningful definition of sustainability?. *Plant Genetic Resources*, 1(1), 5-9.

Bildquellen

Duden online. (2023). Typische Verbindungen (computergeneriert) ‚Nachhaltigkeit‘ (o.D.) Abgerufen am 12.12.2023, von <https://www.duden.de/rechtschreibung/Nachhaltigkeit>.

Franz, J. H. (2022). Nachhaltige Entwicklung technischer Produkte und Systeme: Der Ingenieurberuf im Wandel. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden. (S.16).

Upadrasta, V., Hamdan, J., Leitner, R. & Kolrep, H. (2022). Who Are the Stakeholders of Drone Use? Roles, Benefits, Risk Perceptions, and Solutions. In: Ahram, T. & Taiar, R. (Hrsg.). *Human Interaction, Emerging Technologies and Future Systems V: Proceedings of the 5th International Virtual Conference on Human Interaction and Emerging Technologies, IHiet 2021, August 27-29, 2021 and the 6th IHiet: Future Systems (IHiet-FS 2021), October 28-30, 2021, France* (pp. 572-579). Springer International Publishing. (S. 574).

Planung und Bewertung von Paketdistributionssystemen mit Drohnen

Thomas Kirschstein, Fraunhofer-Zentrum für Internationales Management und Wissensökonomie IMW

Die Drohnenlogistik hat das Potenzial, die Logistikbranche in den kommenden Jahrzehnten grundlegend zu verändern.[1,4,5] Lieferdrohnen gelten als kostengünstiges, nachhaltiges und flexibles Transportmittel, das das Potential besitzt, konventionelle Transportprozesse effizienter zu gestalten.[8] Aufgrund ihres geringen Eigengewichts sowie der Möglichkeit, weitgehend ungebunden von landgebundenen Infrastrukturen und autonom operieren zu können, wird erwartet, dass drohnenbasierte Logistikkonzepte Ressourcenbedarfe und Treibhausgasemissionen über den kompletten Lebenszyklus hinweg reduzieren können.[8] Auf der anderen Seite hat die Beförderung durch die Luft prinzipiell einen höheren Energiebedarf als ein vergleichbarer bodengebundener Beförderungsprozess. Zusätzlich bestehen weitere organisatorische, rechtliche und gesellschaftliche Herausforderungen bei einem flächendeckenden Einsatz von Lieferdrohnen.[6] Erste großflächige Feldversuche von Amazon und Google haben nicht die erhofften Durchbrüche erbracht und wurden z. T. eingestellt.¹

Die realisierbaren Disruptionspotentiale des Einsatzes von Lieferdrohnen hängen von einer ganzen Reihe von Umweltfaktoren ab.[8] Um diese Potentiale valide bestimmen zu können, müssen z.B. die ökonomischen oder energetischen Vorteile von Drohnenlieferdiensten mit etablierten Lieferdiensten verglichen werden. In der hier vorgestellten Simulationsstudie [2,3] wurde ein Paketzustellsystem mit einer Flotte aus elektrischen Kleintransportern und Lieferdrohnen betrachtet. Das Ziel war es, eine Menge an Transportaufträgen von einem zentralen Depot aus so energieeffizient wie möglich zu erbringen. Dazu wurden für Kleintransportern als auch Drohnen der transportbedingte Energiebedarf anhand geeigneter Energiebedarfsmodelle eingesetzt, die auch Umweltfaktoren wie Verkehrsdichte und Windgeschwindigkeiten berücksichtigen.

Die Simulationsergebnisse zeigten, dass Windbedingungen einen erheblichen Einfluss auf den Zustellbereich der Drohnen haben. Bei starkem Verkehrsaufkommen und großen Distanzen zwischen den Kundenstandorten erwies sich der Einsatz von Lieferdrohnen als vorteilhaft, da der Gesamtenergieverbrauch zur Belieferung aller Sendungen reduziert werden konnte (im Vergleich zur Belieferung ausschließlich mit Kleintransportern). In ländlichen Gebieten und bei ruhigen Windverhältnissen lag das durchschnittliche Energieeinsparungspotenzial bei etwa 5 Prozent, während es in städtischen Gebieten weniger als 1 Prozent betrug.

¹ <https://www.wired.com/story/crashes-and-layoffs-plague-amazons-drone-delivery-pilot/> (letzter Abruf: 04.12.2023).

In städtischen Gebieten mit hoher Kundendichte ist das Potenzial zur Energieeinsparung durch den Einsatz von Drohnen begrenzt. Hier sind bodenbasierte Lieferdienste aufgrund ihres hohen Transportvolumens und der großen Kundendichte nach wie vor (energie-)effizient, da der Energiebedarf des schweren Kleintransporters bei kurzen Touren auf viele Pakete verteilt werden kann (Konsolidierungseffekte). In ländlichen Gebieten mit weiträumig verteilten Kunden könnten Drohnen jedoch einen substantiellen Beitrag zur Energieeinsparung leisten, da lange Fahrtstrecken von Kleintransportern mit geringer Paketauslastung substituiert werden können.

Zusammenfassend zeigen die Studien [2,3], dass das Energieeinsparungspotenzial der Paketdistribution mit Drohnen stark von den strukturellen Merkmalen des Belieferungsgebiets und den Umweltbedingungen abhängt. Die Entscheidung für den Einsatz von Drohnen in der Logistik erfordert daher eine sorgfältige und ganzheitlich Abwägung der ökonomischen und ökologischen Auswirkungen nicht nur eines einzelnen Verkehrsträgers oder Prozessschritts, sondern auch alternativer Verkehrsträger und des gesamten Distributionsprozesses. Dazu zählt auch die Einrichtung und das Betreiben der notwendigen Infrastrukturen (z. B. Drohnendepots). Um Akzeptanzrisiken hinsichtlich ökonomischer, ökologischer und sozialer Aspekte zu reduzieren, sind Simulations- und Validierungsstudien notwendig, um belastbare Daten zu generieren und quantitative Vorhersagen über die Auswirkungen von drohnen-basierten Logistikdiensten machen zu können. Solche Studien ermöglichen eine Fundierung von Investitionsentscheidung in Drohnen-Infrastruktur sowie der Neugestaltung von Belieferungsprozessen. Darüber hinaus können diese Erkenntnisse dazu beitragen, die öffentliche Akzeptanz und das Kundenpotential drohnen-basierter Paketlieferdienste zu stärken und die Entwicklung geeigneter regulatorischer Rahmenbedingungen voranzutreiben, indem Nachhaltigkeitspotentiale spezifischer Anwendungskontexte quantifiziert und plausibilisiert werden.

Referenzen

1. Chung, S. H., Sah, B. & Lee, J. (2020). Optimization for drone and drone-truck combined operations: A review of the state of the art and future directions. *Computers & Operations Research*, 123, 105004..
2. Kirschstein, T. (2020). Comparison of energy demands of drone-based and ground-based parcel delivery services. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 78, 102209.
3. Kirschstein, T. (2021). Energy demand of parcel delivery services with a mixed fleet of electric vehicles. *Cleaner Engineering and Technology*, 5, 100322.
4. Moshref-Javadi, M. & Winkenbach, M. (2021). Applications and Research avenues for drone-based models in logistics: A classification and review. *Expert Systems with Applications*, 177, 114854.
5. Otto, A., Agatz, N., Campbell, J., Golden, B. & Pesch, E. (2018). Optimization approaches for civil applications of unmanned aerial vehicles (UAVs) or aerial drones: A survey. *Networks*, 72(4), 411-458.
6. Poikonen, S., Wang, X. & Golden, B. (2017). The vehicle routing problem with drones: Extended models and connections. *Networks*, 70(1), 34-43.
7. Stolaroff, J. K., Samaras, C., O'Neill, E. R., Lubers, A., Mitchell, A. S. & Ceperley, D. (2018). Energy use and life cycle greenhouse gas emissions of drones for commercial package delivery. *Nature communications*, 9(1), 409.
8. Zhang, J., Campbell, J. F., Sweeney II, D. C. & Hupman, A. C. (2021). Energy consumption models for delivery drones: A comparison and assessment. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 90, 102668.

Szenarioentwicklung für Urban Air Mobility

Tim Fraske, HafenCity Universität Hamburg, Digital City Science

Ole Röntgen, Technische Universität Hamburg, Institut für Verkehrsplanung und Logistik

Daniel Kloock-Schreiber, Technische Universität Hamburg, Institut für Lufttransportsysteme

Szenarioentwicklung ist eine zentrale Methodik in der Auseinandersetzung mit neuen Technologien und dem damit verbundenen sozio-technischen Wandel. Im Gegensatz zu Vorhersagemodellen, welche sich auf rein statistische Annahmen stützen, nutzt die Szenarioentwicklung einen narrativen und kreativen Ansatz, um eine Erzählung analytisch darzustellen. Ziel der Szenarioentwicklung ist es, Möglichkeitsräume auf ein spezifisches Ziel einzugrenzen und somit denkbare Zukunftspfade zu identifizieren (Gausemeier et al., 1998). Futuristische Vorstellungen und Erwartungen haben auch im Kontext der Urban Air Mobility (UAM) eine lange und vielfältige Geschichte und reichen in Visualisierungen zurück bis ins 19. Jahrhundert (Cohen et al., 2021). Eine Vielzahl an Anwendungsszenarien findet sich: von Drohnen als unterstützendes Element in der Notfallversorgung oder sektorspezifischen Anwendungen (z.B. in der Landwirtschaft) bis hin zur Nutzung von Flugtaxi für den Personentransport (Aydin, 2019). In den 2010er Jahren wurde das Thema insbesondere durch die potentielle Nutzung von Lieferdrohnen auf der „letzten Meile“ in der städtischen Logistik geprägt, jedoch ohne dass diese Visionen bislang kommerziell realisiert wurden. Zudem können Drohnen-Liefersysteme im Vergleich zur konventionellen Lieferlogistik in Simulationen in vielen typischen Szenarien keine Verbesserung hinsichtlich des Energiebedarfs erzielen (Kirschstein, 2020). Auch werden weitere sozio-ökonomische Barrieren wie regulatorische Rahmenbedingungen, Lärmemissionen, Stakeholder-Management oder die quantitative Nachfrage nach Drohnen deren effektiven Einsatz bzw. die praktische Umsetzung von UAM-Infrastrukturen erschweren (Nneji et al., 2017; Straubinger et al., 2020). Eine ähnliche anfängliche Euphorie erfuhr in den vergangenen Jahren die Entwicklung von Flugtaxi (Polaczyk et al., 2019), deren Konzepte für den Personen-Luftverkehr in städtischen Gebieten meist auf senkrecht startenden und landenden Fahrzeugen (VTOL) beruhen. Dies drückt sich auch in einer Akkumulation von Risikokapital und Leuchtturmprojekten wie den ersten öffentlichen Flugtaxi-Beförderungen eines Staatschefs bei den Olympischen Spielen in Paris 2024 aus. Während einige Unternehmer oder politische Interessenvertreter in diesen Entwicklungen eine der zentralen Mobilitätstransformationen hin zu einer Entlastung des bodengebundenen Verkehrs sehen, halten kritische Stimmen insbesondere die Flugtaxi-Debatte für eine von falschen Versprechen geprägte Mobilitätsvision (Fraske, 2022).

Diese divergierenden Erwartungshaltungen unterstreichen die Relevanz von subjektiven Diskursen und somit die Notwendigkeit einer möglichst objektiven Betrachtung machbarer, aber auch erstrebenswerter Szenarien. Eine in sich widerspruchsfreie Szenarioentwicklung möchte somit nicht nur technisch und operativ mögliche Abläufe

darstellen (*explorative* Szenarien), sondern diese auf spezifische Ziele hin evaluierbar machen (*normative* Szenarien) (Börjeson et al., 2006). Szenarien stellen in sich konsistente Perspektiven auf Zukunftsentwicklungen dar, welche keine Vorhersage, sondern vielmehr den Ausbau einzelner möglicher Stories darstellen (Porter, 1985). Dieser methodische Prozess zielt insbesondere darauf ab, Perspektiven zu erweitern, neue Fragen aufzuwerfen und konventionelles Denken herauszufordern (Greeuw et al., 2000). Szenarioentwicklung umfasst somit die Anwendung unterschiedlicher qualitativer und quantitativer Methoden zur Diskussion von Entwicklungen in einem definierten Zeithorizont. Insbesondere die Betrachtung lokal-räumlicher Eigenschaften mit Hinblick auf gesellschaftliche, topographische und infrastrukturelle Elemente ist hierbei von Relevanz, um die Projektion auf unterschiedliche Anwendungsräume zu ermöglichen (Mavraj et al., 2022; Niklaß et al., 2020). Dieser Prozess folgt einer festgelegten methodischen Logik, um einzelne Stories zu analysieren und zu konsistenten Szenarien weiterzudenken. Abbildung 1 illustriert das methodische Vorgehen einer Szenarioentwicklung. Während dieses Prozesses erfolgt eine Sammlung, Selektion und Evaluation unterschiedlicher Parameter und ihrer wechselseitigen Abhängigkeit, welche schließlich in einem Szenario basierend auf einer bestimmten Story gebündelt werden. Stories können bestimmte nutzungsspezifische Ziele vorgeben, wie die Nutzung von UAM als Antwort auf Mobilitätsengpässe oder zur Anbindung des ruralen Raumes an die städtischen Zentren. Erst eine in sich schlüssige Gesamtbetrachtung und Modellierung ermöglicht somit die Darstellung eines konsistenten Szenarios, welches in Gänze einen Mehrwert für ein spezifisches Ziel begründet.

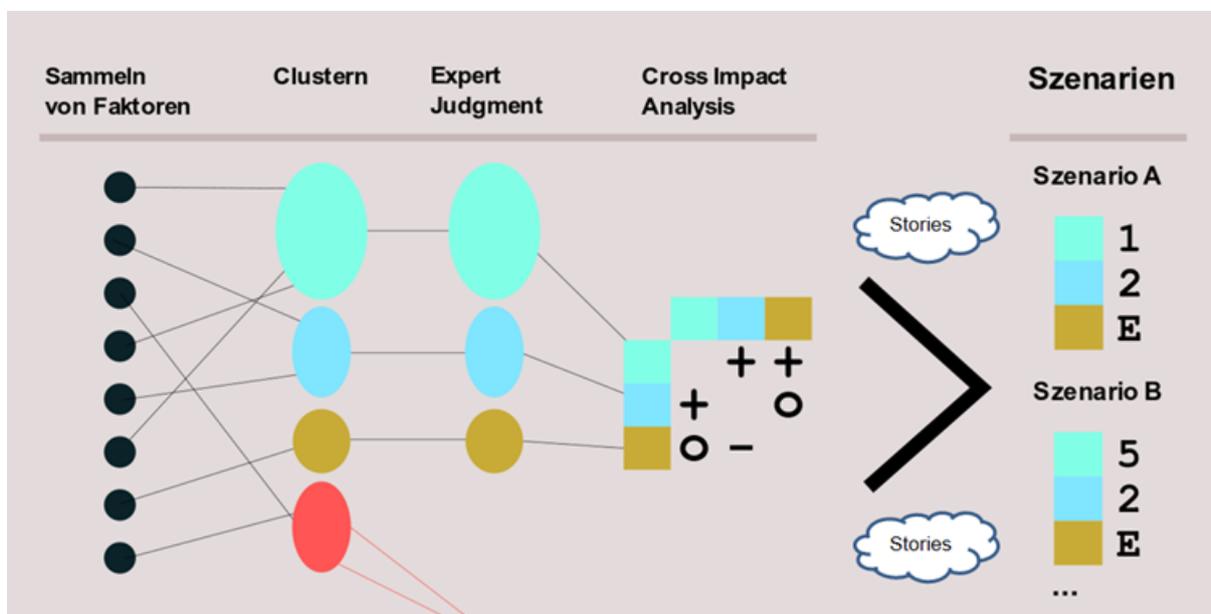


Abbildung 1: Szenarioerstellung im i-LUM Projekt, eigene Darstellung

Wie kann eine solche Szenarioentwicklung zu einer stärkeren Betrachtung von Nachhaltigkeitsdimensionen von UAM beitragen? In explorativen Szenarien werden oftmals zentrale Parameter nicht beachtet. Insbesondere soziale und ökologische Nachhaltigkeitsdimensionen finden in explorativen Szenarien kaum Repräsentation oder

werden nur unterkomplex dargestellt, beispielsweise bei einem ausschließlichen Fokus auf Flugroutensimulation oder Nachfrageskalierung. Eine kritische Evaluation muss daher so kleinteilig und vergleichend wie möglich erfolgen, um nachhaltige und realistische Zukunftsbilder zu erzeugen. Eine Möglichkeit dazu ist ein detaillierter Vergleich von UAM mit dem bestehenden, bodengebundenen Individualverkehr. Dabei müssen u.a. Ressourcenverbrauch, Gesamtaufkommen und Modal Split betrachtet werden, um zu ermitteln, ob UAM bestehende Verkehrsbelastung mindert oder zusätzliche Verkehrsnachfrage erzeugt. Zudem sind die unterschiedlichen Nachhaltigkeitsdimensionen auch untereinander verbunden und potentielle Vorteile können durch Nachteile in anderen Dimensionen egalisiert oder sogar überkompensiert werden. So können vermeintlich evidente Vorteile, beispielsweise eine bessere Erreichbarkeit peripherer Regionen oder die Minderung lokaler Emissionen, durch negative Effekte wie eine zu hohe Preisgestaltung, zusätzliche Flächenversiegelung durch nötige Vertiports oder exzessiven Energieaufwand zu nicht konsistenten Szenarien führen.

Es gibt jedoch auch Limitationen und Risiken bei der Szenarioentwicklung von UAM, welche in der methodischen Betrachtung nicht immer berücksichtigt werden können. Disruptive Ereignisse (z.B. Unfälle, Finanzkrisen) können die zivilgesellschaftliche Akzeptanz und subjektive Wahrnehmung rasch und auf längere Zeit verändern und auf ihrer Grundlage getroffene Annahmen für Zukunftsprognosen unbrauchbar machen. Szenarioentwicklung als Tool dient somit vor allem der Sensibilisierung und Offenlegung möglicher Barrieren und Potentiale, die in vielen Diskurse eine wenig beachtete Rolle spielen. Eine Abkehr von bestehenden Dystopien und Utopien im Kontext von UAM ist somit unerlässlich, um diese neue Mobilitätsform zukünftig in eine adäquate Nutzung zu überführen.

Referenzen

- Aydin, B. (2019). Public acceptance of drones: Knowledge, attitudes, and practice. *Technology in society*, 59, 101180.
- Börjeson, L., Höjer, M., Dreborg, K. H., Ekvall, T., & Finnveden, G. (2006). Scenario types and techniques: towards a user's guide. *Futures*, 38(7), 723-739.
- Cohen, A. P., Shaheen, S. A., & Farrar, E. M. (2021). Urban air mobility: History, ecosystem, market potential, and challenges. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 22(9), 6074-6087.
- Fraske, T. (2022). Change agency and path creation toward future transport systems: A case study of the emerging urban air mobility in Germany. *Papers in Economic Geography and Innovation Studies*.
- Gausemeier, J., Fink, A., & Schlake, O. (1998). Scenario management: An approach to develop future potentials. *Technological Forecasting and Social Change*, 59(2), 111-130.
- Greeuw, S. C., van Asselt, M. B., Grosskurth, J., Storms, C. A. M. H., Rijkens-Klomp, N., Rothman, D. S., ... & Ribeiro, T. (2000). Cloudy crystal balls. European Environment Agency, Copenhagen, Denmark.
- Kirschstein, T. (2020). Comparison of energy demands of drone-based and ground-based parcel delivery services. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 78, 102209.
- Mavraj, G., Eltgen, J., Fraske, T., Swaid, M., Berling, J., Röntgen, O., ... & Schulz, D. (2022). A Systematic Review of Ground-Based Infrastructure for the Innovative Urban Air Mobility. *Transactions on Aerospace Research*, 2022(4), 1-17.
- Niklaß, M., Dzikus, N., Swaid, M., Berling, J., Lührs, B., Lau, A., ... & Gollnick, V. (2020). A collaborative approach for an integrated modeling of urban air transportation systems. *Aerospace*, 7(5), 50.

Nneji, V. C., Stimpson, A., Cummings, M., & Goodrich, K. H. (2017). Exploring concepts of operations for on-demand passenger air transportation. In *17th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations Conference* (p. 3085).

Polaczyk, N., Trombino, E., Wei, P., & Mitici, M. (2019, January). A review of current technology and research in urban on-demand air mobility applications. In *8th Biennial Autonomous VTOL technical meeting and 6th Annual electric VTOL Symposium* (pp. 333-343).

Porter, M. E. (1985). *Competitive Advantage*. New York: Free Press.

Straubinger, A., Rothfeld, R., Shamiyeh, M., Büchter, K. D., Kaiser, J., & Plötner, K. O. (2020). An overview of current research and developments in urban air mobility—Setting the scene for UAM introduction. *Journal of Air Transport Management*, 87, 101852.

Rechtliche Vorgaben und Spielräume zur Nachhaltigkeit im (Luft-) Verkehr

Dana-Sophia Valentiner, Universität Rostock, Juniorprofessur für Öffentliches Recht

Der deutsche Gesetzgeber steht aktuell vor der Herausforderung, eine Lösung für die von der Europäischen Kommission in der Durchführungsverordnung 2021/664 (EU) vorgegebene Integration des Drohnenverkehrs in bestehende Regelungsstrukturen des Luftverkehrsrechts zu finden. Für die Einrichtung von U-Spaces hat die Europäische Kommission die Drohnenstrategie 2.0 für ein intelligentes, nachhaltiges Ökosystem für unbemannte Luftfahrzeuge in Europa vorgelegt. Darin wird das Ziel formuliert, innovative Luftmobilität nachhaltig zu gestalten, um auch die Akzeptanz für den Betrieb von UAS sicherzustellen.¹ Als mögliche Instrumente zur Sicherstellung von Nachhaltigkeit nennt die Europäische Kommission u.a. die Beteiligung von Bürger*innen und Gemeinden bei der Abstimmung innovativer Luftfahrtdienste, die Planung (u.a. für nachhaltige städtische Mobilität sowie die Regionalplanung und die Infrastrukturplanung für Vertiports oder Start- und Landeplätze), Lärminderungsmaßnahmen sowie die Ermöglichung von Tests und Demonstrationen. Auch das BMDV betont in seinem Eckpunktepapier für ein Konzept zur Einrichtung von U-Spaces in Deutschland, dass den Belangen des Umweltschutzes, insbesondere des Natur- und Lärmschutzes, sowie des Verbraucherschutzes angemessen zu Rechnung zu tragen ist, ohne jedoch konkrete Vorschläge dazu zu unterbreiten.²

I. Nachhaltigkeit als Zielsetzung für die Gesetzgebung

Die Berücksichtigung von Nachhaltigkeit, insbesondere von ökologischer Nachhaltigkeit, ergibt sich als Ziel für die nationale Gesetzgebung aus völker-, unions-, verfassungs- und klimaschutzrechtlichen Vorgaben. Zu nennen sind hier insbesondere die Zielsetzungen aus dem Pariser Klimaschutzabkommen, die im Bundesklimaschutzgesetz (KSG) spezifiziert werden. Aus Art. 20a Grundgesetz lässt sich ein Gebot ökologischer Nachhaltigkeit für die Stadt- und Verkehrsentwicklungspolitik entnehmen. Das Spektrum der Gestaltungsmöglichkeiten zeigt zudem auch programmatische, rechtlich unverbindliche Zielsetzungen auf internationaler, europäischer und regionaler Ebene auf. Die Agenda 2030 der Vereinten Nationen benennt mit den *Sustainable Development Goals* u.a. folgende Ziele: den nachhaltigen Aufbau und die nachhaltige Förderung von Industrie, Innovation und Infrastruktur (Ziel 9), das Ziel nachhaltiger Städte und Gemeinden (Ziel 11) sowie das Ergreifen von Maßnahmen zum Klimaschutz (Ziel 13). Für die Stadt- und Verkehrsentwicklung fordert die *Neue Leipzig-Charta* auf europäischer Ebene die Verfolgung der Ziele der „grünen“, der

¹ Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament, den Rat, den Europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen „Eine Drohnenstrategie 2.0 für ein intelligentes, nachhaltiges Ökosystem für unbemannte Luftfahrzeuge in Europa“, COM(2022) 652 final.

² BMDV, Konzept: Einrichtung von U-Spaces in Deutschland für einen koordinierten Betrieb von unbemannten Luftfahrzeugen in ausgewiesenen Lufträumen, 2022.

„gerechten“ und der „produktiven“ (sowie der „digitalen“) Stadt. Die *Urbane Agenda für die EU* setzt insbesondere auf Partnerschaften zwischen Europäischer Kommission, den EU-Mitgliedstaaten sowie Regionen, Städten und Verbänden, um gemeinsam Aktionspläne mit konkreten Lösungen für die nachhaltige Stadtentwicklung in den Bereichen bessere Rechtssetzung, bessere Finanzierung und besseres Wissensmanagement auszuarbeiten.

II. Nachhaltigkeit im Luftverkehrsrecht de lege lata

Im geltenden Luftverkehrsrecht sind bereits einige Regelungen zu identifizieren, die auf ökologische Nachhaltigkeit, insbesondere die Reduktion von CO₂-Emissionen zielen. Im Recht der bemannten Luftfahrt sind hier Emissionsstandards zu nennen, etwa jene der internationalen Zivilluftfahrtorganisation ICAO, die im Unionsrecht in der Verordnung 2018/1139 Eingang finden. Ergänzt werden sie durch Emissionszertifikatshandelssysteme, etwa auf europäischer Ebene (EU-ETS).³ Weitere Maßnahmen sind Flughafenentgelte, die Luftverkehrssteuer oder Lärmschutzregelungen.

Bei UAM geht es – anders als in der bemannten Luftfahrt – unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten wohl nicht an erster Stelle um Dekarbonisierung. Für die Regulierung der unbemannten Luftfahrt ist der Lärmschutz als Aspekt von Nachhaltigkeit die zentrale Herausforderung. Daneben spielt auch die optische Beeinträchtigung durch UAS, insbesondere bei einem hohen Verkehrsaufkommen im urbanen Gebiet, eine Rolle. Das geltende Recht trifft zum Lärmschutz für UAM kaum eigenständige Regelungen, die Vorschriften des FluglärmG für die bemannte Luftfahrt lassen sich auch nicht ohne Weiteres übertragen. Auch für die optischen Beeinträchtigungen hält das geltende Recht keine Lösungen bereit, zumal baurechtliche Regelungen allenfalls hinsichtlich der für UAM erforderlichen Bodeninfrastruktur (sogenannte Vertiports) greifen.

III. Recht des unbemannten Luftverkehrs der Zukunft – Herausforderungen und Ansatzpunkte zur Integration der Nachhaltigkeitsperspektive

Der Vortrag hat verschiedene Ansätze vorgestellt und diskutiert, um die Nachhaltigkeitsperspektive bei der U-Space-Gesetzgebung zu berücksichtigen. Zunächst ist denkbar, eine eigenständige Zielsetzung – ähnlich wie in § 1a Personenbeförderungsgesetz – in das Gesetz aufzunehmen, dass bei Anwendung des Gesetzes die Ziele des Klimaschutzes und der Nachhaltigkeit zu berücksichtigen sind. Auch eine explizite Benennung von Klimaschutz- und Nachhaltigkeitsbelangen im Rahmen von Vorschriften des unbemannten Luftfahrtrechts zu Planungsentscheidungen, wie der Ausweisung eines U-Spaces, kommt in Betracht. Auch ohne eine solche explizite Regelung sind Erwägungen des Klimaschutzes durch die Verwaltung bereits jetzt aufgrund von § 13 Bundesklimaschutzgesetz (KSG) zu berücksichtigen.

Im Rahmen von Planungen sind insbesondere die Kommunen einzubeziehen, deren Planungshoheit durch die Ausweisung von U-Spaces berührt wird. U-Space-Planung ist als

³ Seit Anfang 2012 ist der innereuropäische Luftverkehr in den Europäischen Emissionshandel einbezogen.

umweltrelevante Planung zu qualifizieren. Auch neue Instrumente der integrierten Mobilitätsplanung, wie etwa der Berliner Stadtentwicklungsplan Mobilität und Verkehr, könnten künftig Drohnenmobilität mitdenken und so auch Umweltziele für urbane Drohnenmobilität festschreiben. Darüber hinaus stellt sich die Frage, wie die notwendige Bodeninfrastruktur für die unbemannte Luftfahrt, sogenannte Vertiports, in die Bauleitplanung zu integrieren ist. Eine umfassende Planung muss die Herausforderung annehmen, bodenbezogene und luftbezogene Regelungsregime zu berücksichtigen.

Zur Steigerung der Akzeptanz von UAM sind zudem Formate zu diskutieren, um Umweltverbände sowie Bürger*innen an der Ausweisung von U-Spaces zu beteiligen. Interessant ist auch der Blick auf finanzielle Beteiligungsinstrumente aus dem Bereich des Windenergieausbaus, insbesondere das Bürger- und Gemeindenbeteiligungsgesetz M-V.⁴

Um das Ziel der Lärminderung zu erreichen, kommen weitere Instrumente wie die Kopplung von Entgelten im U-Space an die (Lärm-)Emissionsmengen in Betracht, analog zu der Berücksichtigung von Lärm bei Wegeentgelten auf der Schiene.

Schließlich könnte zur Innovationsförderung im Bereich UAM über die Implementierung von Experimentierklauseln nachgedacht werden, um ökologische Nachhaltigkeit und nicht zuletzt auch das Ziel ökonomischer Nachhaltigkeit zu realisieren.

Es lässt sich festhalten: Der Gesetzgeber ist rechtlich an die Zielsetzung der Nachhaltigkeit gebunden. Für die Umsetzung im Rahmen eines nachhaltigen urbanen Luftverkehrsrechts stehen ihm vielfältige Regelungsmöglichkeiten offen, wobei neben den verbindlichen Vorgaben insbesondere auch die politisch-programmatischen Direktiven wertvolle Impulse setzen.

⁴ Dazu auch BVerfG, Beschl. v. 23.03.2022 – Az. 1 BvR 1187/17.

A critical perspective on the sustainability of Urban Air Mobility

Anna Straubinger, ZEW – Leibniz Centre for European Economic Research

Julia Schaumeier, Bauhaus Luftfahrt e.V.

Introduction

Urban Air Mobility (UAM) in the following describes commercial passenger transport services within or between cities or rural areas from and to dedicated landing areas, so called vertiports, using electric vertical take-off and landing (eVTOL) vehicles. Industry players portray eVTOL vehicles that commonly carry 2–4 passengers as sustainable, quiet, cheap and safe, predicting a large market potential (Straubinger et al., 2021a). Transport policies around the globe aim to increase the sustainability of transport services with respect to a) environmental, b) economic and c) social aspects related to transport systems, their performance and externalities. It therefore is essential to understand how UAM can be sustainable, before introducing it as a new mode of transport.

With this short discussion paper, we aim to take a critical perspective on UAM. Building upon our prior research, we derive five core statements on UAM's potential for transport-system improvements and sustainability.

UAM is not per se an environmentally sustainable mode of transport

Existing research (e.g., Straubinger et al., 2022) has shown that adding UAM to a city with petrol-fueled cars has the potential to reduce CO₂ emissions (considering CO₂ from combustion as well as electricity production). Arguably, this constitutes an unfair comparison. Introducing electric cars instead, leads to a higher energy efficiency in terms of travelled distance, hence making UAM the less environmentally sustainable transport option. Only in rare cases, for example where the travelled distance by air is substantially reduced compared to road travel, the added expenditure of lifting a vehicle into the third dimension can be compensated. Even if electricity generation were CO₂ neutral, the question remains of how to efficiently allocate a limited resource for a certain task, e.g. the transport of people.

UAM will in most cases not be faster

In cities with high congestion levels, using UAM can result in travel time savings. Yet, assessments have shown that complex travel chains often make UAM unattractive (Rothfeld et al., 2021). As eVTOL vehicles are assumed to require designated infrastructure for take-off and landing, direct travel between origin and destination will not be possible in most scenarios. Including access and egress times, buffer times and processing times at the vertiport, travel times of eVTOL vehicles are often not expected to be significantly shorter than those of cars or public transport. This is especially true for shorter routes where the flight time constitutes a smaller share of the overall travel time.

UAM will not be a mass transport

The low energy efficiency of vertical take-off and landing together with limitations in battery technology will limit the payload of eVTOL vehicles for the upcoming years. A low number of passenger seats per vehicle will require a considerable number of flights per day to attain even small modal shares¹. The necessary supply of vertiport infrastructure and air traffic management will render it improbable for UAM to become a mass transport system, irrespective of demand.

UAM will not decrease congestion on the roads

Positive estimates assume UAM prices to equal taxi prices, hence it is unlikely that UAM will take up a large modal share. Consequently, UAM will only have a small impact on congestion, which is corroborated by several studies (Straubinger et al., 2021, Fu et al., 2022). Even if a sufficiently large share of demand is taken up by UAM, congestion benefits are likely to be used up by induced demand, similar to effects seen in road expansion.

UAM will affect different parts of society in different ways

UAM services are likely to be too expensive to be accessible to everyone. Prices at par with taxi services are more than most people can or want to afford for occasional journeys, let alone their daily commute. This makes UAM an additional amenity for those willing and able to pay for it. Analysing the effects that UAM has on the transport sector as well as related markets, we can see positive and negative effects for users as well as non-users of UAM services. First analyses provide evidence that high-skilled households will benefit from UAM introduction while low-skilled households face welfare losses (Straubinger et al., 2021b). Most of this effect is driven by changes in related markets (mainly the market for land) that have a stronger negative impact on low-income households, who themselves will rarely use UAM. Additionally, considering the spatial and societal distribution of externalities, it is likely that low-income households and deprived areas will be more exposed to negative externalities, such as noise and visual pollution, than high-income households and wealthy areas.

Conclusion

This discussion paper shows that the portrayal of UAM regarding environmental, economic and social sustainability are not necessarily true. Research provides evidence that a) UAM is not necessarily a green mode of transport, b) the potential impact of UAM on the overall transport system is limited, and c) equity aspects need to be taken into consideration. Policy and decision makers need to identify ecologically, socially and economically sustainable application cases when introducing UAM in their region, instead of introducing an energy intensive transport mode mainly favouring the rich.

¹ A back of the envelope calculation shows, that already cities like Munich, with 1.5 mio. inhabitants, each conducting 3 trips per day, a 1% market share for UAM and two passengers per flight would result in 22,500 flights per day.

We would like to promote:

- a) *Environmental*: environmentally sustainable applications in areas with geographical particularities like water (rivers, lakes or islands) or mountains where UAM can significantly reduce travel distances.
- b) *Economic*: integrating the UAM network into existing (public) transport networks to facilitate faster travel times, while at the same time offering a good connection to mass transport systems.
- c) *Social*: considering negative externalities when designing UAM systems and flight routes, which is essential to facilitate social equity and to increase public acceptance.

Referenzen

Fu, Mengying, Anna Straubinger, and Julia Schaumeier. 2022. "Scenario-Based Demand Assessment of Urban Air Mobility in the Greater Munich Area." *Journal of Air Transportation*: 1–12.

Rothfeld, Raoul, Mengying Fu, Miloš Balać, and Constantinos Antoniou. 2021. "Potential Urban Air Mobility Travel Time Savings: An Exploratory Analysis of Munich, Paris, and San Francisco." *Sustainability*, 13(4): 2217.

Straubinger, Anna, Fabian Helmchen, Kay O. Ploetner, and Jochen Kaiser. 2021a. "Proposing a scenario-based estimation of global urban air mobility demand". In *AIAA Aviation 2021 Forum*, <https://doi.org/10.2514/6.2021-3207>.

Straubinger, Anna, Erik T. Verhoef, and Henri L. de Groot. 2021b. "Will urban air mobility fly? The efficiency and distributional impacts of UAM in different urban spatial structures." *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 127: 103124.

Straubinger, Anna, Erik T. Verhoef, and Henri L. de Groot. 2022. "Going electric: Environmental and welfare impacts of urban ground and air transport." *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 102: 103146.

Urban Air Mobility gemeinwohlorientiert planen

Tobias Biehle, Fachgebiet Arbeitslehre, Technik und Partizipation, Technische Universität Berlin

Bereits ab dem Jahr 2024 sollen elektrische Kleinflugzeuge (eVTOL) für den kommerziellen Personentransport in europäischen Metropolregionen betrieben werden. Bis zum Jahr 2050 sollen dann rund 160.000 dieser Vehikel regelmäßig im unteren Luftraum operieren [1]. Für diese Form von Urban Air Mobility (UAM) unternimmt der vorliegende Beitrag eine sozialwissenschaftliche Technikfolgenabschätzung (TA) und bewertet aufkommende Mobilitätsdienstleistungen hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf das Gemeinwohl. Der Beitrag argumentiert für eine stärkere Ausrichtung dieser technischen Systeme am Leitbild und formuliert Empfehlungen für die kommunale Planungspraxis.

Im dabei zugrunde gelegten Verständnis einer kollektivistischen Gemeinwohlorientierung bestimmt sich der Wert einer Technologie danach, ob durch ihren Einsatz das Wohlergehen aller Mitglieder einer Gemeinschaft gesteigert wird [2]. Dabei wird der durch eine Technologie beeinflusste Wohlstand nicht als Summe individueller Vorteile verstanden. Der normative Bewertungsmaßstab ist die gerechte Verteilung des Wohlstands im Sinne vor- und nachteiliger Technikfolgen in der Bevölkerung als Grundlage für den gesellschaftlichen Zusammenhalt. In diesem Fokus bestehen starke Parallelen zwischen dem Begriff der Gemeinwohlorientierung zum ebenfalls in der TA etablierten Leitbild der sozialen Nachhaltigkeit, welches eine gerechte Verteilung von Wohlstand als notwendige Voraussetzung versteht, sich als Gesellschaft nachhaltig aufstellen bzw. nachhaltig handeln zu können [3].

Die Schwerpunktsetzung auf das Leitbild der Gemeinwohlorientierung beruht auf der These, dass UAM mit einem prognostizierten Marktanteil in der Größenordnung von rund 1% keine spürbaren positiven Auswirkungen auf bestehende Verkehrssysteme (z. B. Verkehrsentlastung) haben wird. Vielmehr wird der vom Bodenverkehr abgekoppelte Transport einiger weniger Menschen in eVTOLs zu einer erheblichen Menge an Flügen im öffentlichen Raum beitragen [4]. Damit einher gehen unmittelbare Verkehrsfolgekosten für die Allgemeinheit. Dazu zählen Sicherheitsrisiken, Lärm oder steigende Energie- und Flächenverbräuche. In Hinblick auf die breite Streuung dieser Kosten zur Erfüllung partikularer Interessen ist ein Legitimationsdefizit in der breiten Bevölkerung und gesellschaftspolitischer Widerstand gegen UAM erwartbar. Es ist daher angemessen, frühzeitig nach Optionen für eine gemeinwohlorientierte Planung von UAM im öffentlichen Raum zu suchen, um den wahrscheinlichen Interessenkonflikt zwischen Wirtschaft(-politik) und Gesellschaft entgegenzuwirken.

Um dieses Ziel zu unterstützen, müssen die erwartbaren Auswirkungen von UAM zunächst bewertet und in einem zweiten Schritt durch planerische Maßnahmen adressiert werden.

Indikatoren, die dafür genutzt werden können, lassen sich aus den Sustainable Urban Mobility Indikatoren (SUMI) ableiten [5]. Ausgehend vom *Aktionsplan zur urbanen Mobilität* der Europäischen Kommission im Jahr 2009 wurden diese Indikatoren mehrfach überarbeitet und stellen heute eine anerkannte methodische Referenz für kommunale Initiativen zur Förderung nachhaltiger städtischer Mobilität in Europa dar [6]. Von den insgesamt 18 Indikatoren spiegeln fünf die soziale Dimension städtischer Mobilität wider, die für eine gerechte Verteilung des primären Nutzens von UAM, nämlich den verbesserten Transport von Menschen, zentral sind. Sie umfassen:

- 1) die Bezahlbarkeit des Verkehrsmittels, denn diese sollten für alle Teile der Gesellschaft erschwinglich sein, um am sozialen und wirtschaftlichen Leben teilnehmen zu können,
- 2) die Inklusivität des Verkehrsträgers für mobilitätseingeschränkte Gruppen, denn Menschen sollten nicht durch ihren körperlichen oder geistigen Zustand ausgegrenzt werden,
- 3) die Erreichbarkeit des Verkehrsträgers, denn unterschiedliche Anbindung an das Verkehrsnetz erzeugt ungleiche Chancen in der Lebensgestaltung,
- 4) die Zufriedenheit mit dem Verkehrsträger, denn was nicht gemocht oder wovor sich gefürchtet wird, wird auch faktisch nicht genutzt, sowie
- 5) der Einfluss des Verkehrsträgers auf die Qualität öffentlicher Räume, da Mobilität von dem subjektiven Gefühl von Sicherheit und Wohlbefinden in der Umwelt abhängt [7].

Biehle (2022) adaptiert diese Indikatoren für UAM, um mittels einer strukturierten Literaturanalyse die erwartbaren Auswirkungen von eVTOLs auf städtische Verkehrssysteme im Europäischen Kontext zu untersuchen. Die Ergebnisse unterstützen die These, dass UAM in seiner jetzigen Konzeption zu einer unausgewogenen Verteilung von Kosten und potenziellem Nutzen führt. Es muss erwartet werden, dass Geschäftsmodelle kurz- bis mittelfristig auf ein spezielles Kundensegment zugeschnitten werden, weshalb die Einführung von UAM in seiner jetzigen Konzeption nachteilig auf das Gemeinwohl und den gesellschaftlichen Zusammenhalt wirkt.

Mit minimal erwartbaren 70 Euro für einen 10 Kilometer langen innerstädtischen Kurztrip ist UAM für die meisten Bürger, selbst für den gelegentlichen Gebrauch, zu teuer. Inklusivität für mobilitätseingeschränkte Personen spielt in der Literatur bislang keine Rolle. Die räumliche Zugänglichkeit zu UAM-Diensten ist vor allem durch den geringen Passagierdurchsatz kleinerer Vertiports in zentralen Lagen limitiert, während die Wahrscheinlichkeit, dass größere Vertiports mit relevanteren Durchsatzraten zentral in attraktiven Einzugsgebieten platziert werden, aus städtebaulichen Gründen gering erscheint. Eine subjektive Zufriedenheit mit UAM kann vor allem für jüngere, technikaffine Männer mit höherem Bildungsstand und überdurchschnittlichem Einkommen erwartet werden, die in Einzugsgebieten größerer Städte leben und häufig allein pendeln. Hinsichtlich des Einflusses von UAM auf die Qualität öffentlicher Räume müssen externe Verkehrskosten wie Lärm und Stress für Anwohner in der Nähe von Vertiports und entlang entsprechender Flugkorridore

hervorgehoben werden. Ästhetische Aspekte sowie Sicherheitsbedenken sollten ebenfalls als Kosten für die Allgemeinheit herausgestellt werden [8].

Abgeleitet aus diesen Befunden scheint ein breiterer gesellschaftlicher Nutzen von UAM erst möglich, wenn Verbraucherpreise sinken. Dies steht vor allem mit der Etablierung autonomer Flugfähigkeiten im Zusammenhang. Inwiefern Kommunen ein strategisches Interesse daran haben, diese Entwicklung als Testbett für eVTOLs zu unterstützen, muss im Einzelfall abgewogen und gegenüber der Öffentlichkeit begründet werden. Des Weiteren können UAM-Services erst dann zum Gemeinwohl in Kommunen beitragen, wenn Transportnetze zwischen Vertiport-Standorten tatsächliche Schwächen im urbanen Verkehrssystem adressieren, ohne lediglich auf attraktiven Routen in wirtschaftliche Konkurrenz zum bestehenden ÖPNV zu treten.

In Hinblick auf die Bedarfe mobilitätseingeschränkter Gruppen sollte der Gesetzgeber für UAM die gleichen Standards einfordern, wie sie national auch für den ÖPNV gelten. Um zudem die gerechte Verteilung vor- und nachteiliger Technikfolgen moderieren zu können, ist auf kommunaler Ebene eine rechtliche Handhabe und Mitbestimmung bei der Luftraumplanung notwendig sowie die Anwendung zielführender Formate zur Beteiligung von Anrainern bei der Infrastrukturplanung zu empfehlen. Gesellschaftlichen Kosten von UAM wie Lärm und Sicherheitsrisiken können aus kommunaler Perspektive jedoch auch durch eine geringere Nachfrage nach UAM-Services in der Bevölkerung abgeschwächt werden, beispielsweise durch den Ausbau eines bedarfsgesteuerten und verlässlichen öffentlichen Regionalverkehrs, sowie durch die Fokussierung auf eine nachhaltige Metropolentwicklung mit größerer funktionaler Vielfalt, kürzeren Wegen und weniger Zersiedelung.

Referenzen

1. M. Hader, S. Baur, S. Kopera, T. Schönberg, J.-P. Hasenberg. *The High-Flying Industry: Urban Air Mobility Takes Off. Urban Air Mobility—An Industry Takes Off. Investments Are over 20 Times Higher than Four Years Ago*; Roland Berger GmbH: Munich, Germany, 2020.
2. D. Nohlen und F. Grotz, Hrsg., *Kleines Lexikon der Politik*, Originalausgabe, 6 Auflage. in C.H. Beck Paperback, no. 1418. München: C.H. Beck, 2015.
3. E. Moser, „Normative Leitbilder in der Technikfolgenabschätzung“, Institut für Technikfolgen-Abschätzung (ITA), Wien, ITA-18-02, 2018.
4. K. Plötner, A. Straubinger, L. Preis, M. Shamiyeh. *Putting Urban Air Mobility into perspective*. Bauhaus Luftfahrt e. V., Taufkirchen, 2022.
5. C. Al Haddad, M. Fu, A. Straubinger, K. Plötner, und C. Antoniou, „Choosing Suitable Indicators for the Assessment of Urban Air Mobility: A Case Study of Upper Bavaria, Germany“, *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 2020.
6. S. Bebbler, B. Libardi, S. De Atayde Moschen, M. B. Correa da Silva, A. Cristina Fachinelli, und M. L. Nogueira, „Sustainable mobility scale: A contribution for sustainability assessment systems in urban mobility“, *Cleaner Engineering and Technology*, Bd. 5, S. 100271, 2021.
7. Directorate-General for Mobility and Transport *Sustainable Urban Mobility Indicators (SUMI)*. Indicators 1, 2, 6, 12, and 14. https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/clean-transport-urban-transport/sumi_en (24.07.2022)
8. T. Biehle, „Social Sustainable Urban Air Mobility in Europe“, *Sustainability*, Bd. 14, Nr. 15, S. 9312, 2022.

Da ist Luft nach oben: Soziale und nachhaltige Personenbeförderung aus juristischer Perspektive

Deike Tamm, ehem. Frankfurt University of Applied Sciences

Über soziale und nachhaltige Personenbeförderung wurde im Projekt „Umweltmobilitätshub“ am Research Lab for Urban Transport (ReLUT) in einem interdisziplinären Team geforscht. Die rechtswissenschaftlichen Forschungsergebnisse lassen Parallelen zu den juristischen Herausforderungen der Personenbeförderung durch Flugtaxis erkennen und können Aufschluss darüber geben, was in diesem Kontext unter „sozialer Nachhaltigkeit“ zu verstehen ist.

Fragestellung des Projekts „Umweltmobilitätshub“: Über die Plattform „Umweltmobilitätshub“ sollten Fahrgemeinschaften zwischen Nachbarn vermittelt werden. Ziel dieses Mobilitätskonzeptes war es, Fahrten zu bündeln, indem freie Sitzplätze auf der Plattform angeboten wurden, und dadurch gleichzeitig die Nachbarschaftsgemeinschaft zu stärken. Gerade ältere Menschen könnten von dem zusätzlichen Fahrangebot profitieren. Für angebotene Fahrten sollte es eine finanzielle Entschädigung geben. Zum Forschungsprojekt gehörte eine rechtswissenschaftliche Begutachtung dieser Form der Personenbeförderung. Hierfür wurde die Frage erörtert, ob und wie die Fahrgemeinschaften rechtsverträglich ausgestaltet werden könnten.

Methodik des Projekts „Umweltmobilitätshub“: Das Mobilitätskonzept wurde in einem interdisziplinären Team erarbeitet und bildete den Sachverhalt der juristischen Begutachtung. Auf dieser Grundlage fand die rechtswissenschaftliche Analyse in einem mehrstufigen Prozess statt: Zunächst wurden alle einschlägigen Rechtsquellen aus dem nationalen öffentlichen Recht, Zivilrecht, sowie dem Europarecht in einer Matrix übersichtlich zusammengetragen, um Zusammenhänge zu erkennen und hervorzuheben. Anhand dessen wurden rechtliche Problemfelder identifiziert, für die anschließend technische, vertragliche und legislative Lösungsansätze erarbeitet wurden. Hierfür fand eine Literaturrecherche statt und die rechtswissenschaftlichen Auslegungsmethoden kamen zur Anwendung.

Rechtswissenschaftliche Forschungsergebnisse des Projekts „Umweltmobilitätshub“: Eine wesentliche Herausforderung für die Rechtsverträglichkeit der Fahrgemeinschaften des „Umweltmobilitätshubs“ sind die Genehmigungsvoraussetzungen zur Personenbeförderung aus dem Personenbeförderungsgesetz (PBefG). Aufgrund ihrer Zielgruppe stehen die Fahrgemeinschaften in einem Konkurrenzverhältnis zum Taxigewerbe. Bis zur Novelle des Personenbeförderungsgesetzes im Jahre 2021 mussten sie sich an den Genehmigungsvoraussetzungen für Taxis messen lassen. Diese waren wiederum nicht vereinbar mit dem Modell des „Umweltmobilitätshubs“. Bspw. muss ein Taxifahrer eine gesonderte Fahrerlaubnis zur Personenbeförderung haben, wohingegen sich auf der Mobilitätsplattform des „Umweltmobilitätshubs“ jeder aus der Nachbarschaft als Fahrer hätte

registrieren können. Gleichzeitig zählt der Taxiverkehr zum Öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV). Daraus ergeben sich die Betriebs- und die Beförderungspflicht (§§ 21 f. PBefG), wonach ein regelmäßiger Betrieb zu gewährleisten ist und in der Regel kein Fahrgast abgewiesen werden darf. Die Novelle verankerte im neuen § 1a PBefG das Ziel der Nachhaltigkeit und führte in § 50 PBefG n.F. die Verkehrsform „gebündelter Bedarfsverkehr“ ein. Dies hatte zur Folge, dass „Ride-Pooling“ als nachhaltiges Mobilitätskonzept ermöglicht wurde. Allerdings wurde von dem Erfordernis der Fahrerlaubnis zur Personenbeförderung nicht vollständig abgesehen, sodass die Fahrgemeinschaften des „Umweltmobilitätshubs“ trotz der Gesetzesänderung keinen Anspruch auf Genehmigung haben. Eine letzte Möglichkeit bilden Genehmigungen durch Ausnahmetatbestände, § 2 Abs. 6 PBefG für untypischen Verkehr und § 2 Abs. 7 PBefG zur Erprobung neuer Verkehrsarten oder -mittel. Ob eine Ausnahmegenehmigung erteilt wird, liegt allerdings im Ermessen der jeweiligen Genehmigungsbehörde. Dementsprechend können sich regionale Unterschiede ergeben. Zudem sind diese Ausnahmegenehmigungen lediglich als Übergangslösung geeignet, da sie nur zeitlich begrenzt ausgestellt werden dürfen. Somit fehlt es an Rechts- bzw. Planungssicherheit.

Parallelen zur Personenbeförderung in Flugtaxis:

Die im Projekt gewonnen rechtswissenschaftlichen Ergebnisse lassen sich teilweise auf die Personenbeförderung mittels Flugtaxis übertragen und geben Aufschluss darüber, was in diesem Kontext unter „sozialer Nachhaltigkeit“ zu verstehen ist. Hierzu nachfolgend drei wesentliche Punkte.

Erstens kann die Idee der „sozialen Nachhaltigkeit“ auch im Luftraum zum Tragen kommen. Freie Kapazitäten sollten der Allgemeinheit zur Verfügung gestellt werden. Ein gleichberechtigter Zugang kann durch eine Beförderungspflicht geregelt werden, vergleichbar mit der Pflicht aus § 22 PBefG, sodass grundsätzlich kein Fluggast abgewiesen werden dürfte. Zudem könnte das Streben nach Nachhaltigkeit auch für den Flugverkehr neue Gesetzesinitiativen anstoßen und sogar als Ziel im Gesetz verankert werden, ähnlich zu dem § 1a PBefG.

Zweitens handelt es sich sowohl beim „Umweltmobilitätshub“ als auch bei Flugtaxis um neuartige Mobilitätskonzepte. Um zu gewährleisten, dass auch durch neue Verkehrsformen die Personenbeförderung sicher gestaltet wird, spielen sowohl auf dem Boden als auch in der Luft die Genehmigungsvoraussetzungen eine entscheidende Rolle. Bestenfalls sollten diese Genehmigungsvoraussetzungen im Luftverkehr an die Bedürfnisse eines Flugtaxi-Betriebs angepasst werden, ohne Abstriche bei den Sicherheitsanforderungen bzgl. der Personenbeförderung zu machen.

Drittens liegt der Vergleich mit Taxis nicht nur für die Fahrgemeinschaften des „Umweltmobilitätshubs“, sondern auch für Flugtaxis auf der Hand. In jedem Falle müssen sich neuartige Mobilitätskonzepte zunächst an bestehenden rechtlichen Vorgaben messen lassen. Als Übergangslösung bieten sich Ausnahmegenehmigungen an. Hierbei handelt es sich um

Genehmigungen, die von den zuständigen Behörden nach eigenem Ermessen im Einzelfall und nur für begrenzte Zeit gegeben werden können. Da diese Ausnahmegenehmigungen somit nicht auf einem rechtlich festgelegten Tatbestand beruhen, begründen sie keinen einklagbaren Anspruch des Antragstellenden. Langfristig ist demnach eine rechtliche Etablierung innovativer Konzepte notwendig, um Rechts- und Planungssicherheit herzustellen.

Referenzen

Tamm, D. (2021): Novelle des Personenbeförderungsgesetzes: Innovationsfreundlich für nachhaltige und digitale Mobilitätsplattformen? In: Recht der Transportwirtschaft. Heft 6/2021, S. 223-228.

Schäfer, P., Wendt, D., Weiser, F., Tamm, D. (2021): Rechtliche Herausforderungen sozialer Mobilitätsplattformen - am Beispiel des „Umweltmobilitätshub“ des Research Lab for Urban Transport. In: Journal für Mobilität und Verkehr - Mobilitätswandel durch digitale Transformationsprozesse, ISSN 2628-4154, Ausgabe 8 – März 2021, S. 14-24.

Schäfer, P., F. Weiser, D. Wendt u. D. Tamm (2021): Umweltmobilitätshub. Potenzialanalyse einer Plattform zur Integration von eCarsharing, Fahrgemeinschafts- und Mitbring-Funktionen. Abschlussbericht.

Regulationserfordernisse für den nachhaltigen Betrieb von unbemannten Luftfahrzeugen

Hinnerk Eißfeldt, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für Flugführung FL-SEG

In den vergangenen Jahren sind weltweit vielfältige Entwicklungen im Bereich der unbemannten Luftmobilität zu verzeichnen gewesen. Neben der Entwicklung verschiedener unbemannter Luftfahrzeuge selbst und deren angestrebter Zertifizierung durch die Aufsichtsbehörden haben internationale Bestrebungen zur Einrichtung von U-Spaces und die Entwicklung von operativen Betriebskonzepten auch auf nationaler Ebene besondere Bedeutung. Verschiedene Erprobungen zu Forschungszwecken, sogenannte ‚Reallabore‘ oder ‚sandboxes‘, haben zudem erste Erkenntnisse für den praktischen Betrieb von UAS (Unmanned Aerial Systems) im urbanen Umfeld erbracht. Die an den Versuchen beteiligten Städte und Regionen fordern in ihrem ‚Amsterdamer Manifesto‘ klare Entscheidungsbefugnisse bei der Genehmigung und Gestaltung von urbaner Luftmobilität auf ihrem Gebiet (UIC2 2020), auch um eine nachhaltige Ausgestaltung zu erreichen (UIC2 2021).

Neben der allgemein vorherrschenden Forderung nach Klimaneutralität sind verschiedene Dimensionen der Nachhaltigkeit von Verkehrstransportsystemen definiert (vgl. Dobranskyte-Niskota et al., 2009). Dazu gehört die soziale Nachhaltigkeit mit den Themen Verfügbarkeit und Verbreitung, Unfallrisiken, Auswirkungen auf die Gesundheit, Erschwinglichkeit des Transports und Beschäftigungsauswirkungen. Soziale Nachhaltigkeit von urbaner Luftmobilität soll hier in diesem Sinne als gegeben angesehen werden, wenn sie eine breite gesellschaftliche Teilhabe ermöglicht, ein klarer Nutzen für das Gemeinwohl erzielt wird, der Betrieb für Nutzer dauerhaft erschwinglich ist und für Anwender und Anwohner gleichermaßen schadungsfrei verläuft.

Dieser Beitrag beschreibt Anforderungen an eine nachhaltige urbane Luftmobilität insbesondere hinsichtlich gesundheitlicher Auswirkungen auf die Bevölkerung. Schädliche Auswirkungen von Fluglärm auf die Gesundheit sind allgemein anerkannt (Sparrow et al., 2019). Mögliche Lärmbelästigung ist ein entscheidendes Bedenken hinsichtlich der Akzeptanz von Drohnen. Während andere Besorgnisse, beispielsweise solche vor Missbrauch oder Verletzungsgefahr, mit zunehmendem Wissen über und Erfahrungen mit Drohnen abnehmen (Eißeeldt et al., 2020), sind Lärmbesorgnisse bei vorhandenen realen Erfahrungen eher stärker ausgeprägt (ebd., S.669) und auch als einzige der abgefragten Besorgnisse über die vergangenen Jahre angestiegen (VUL 2022). Neuere Forschungsergebnisse bestätigen zudem ein zunehmendes Belästigungserleben ‚Annoyance‘ von Flughafenanwohnern (Miller et al., 2021). Inwieweit diese Ergebnisse auf zukünftige Vertiports übertragbar sind, bleibt zu prüfen. Grundsätzlich aber gilt: Auch Drohnenlärm ist Fluglärm. Zwar sind die Geräuschentwicklungen in der Intensität wohl geringer als bei anderem Fluggerät, zumindest in Ballungszentren kann dies jedoch durch oft geringere Hörabstände teilweise wieder ausgeglichen werden, und die

tonale Qualität von eVTOLs (electric Vertical Take-Off and Landing aircraft) mit ihren multirotor-Antrieben wird in Hörversuchen bei gleichem Schalldruck als störender erlebt als die von herkömmlichen Luftfahrzeugen (EASA 2021). Insgesamt deutet sich hier besonders im urbanen Umfeld ein wichtiges Kriterium für behördliche Planungs- und Genehmigungsprozessen an.

Weltweit gibt es zahlreiche Entwicklungsprojekte für eVTOLs zur Passagierbeförderung, mehrere Firmen haben bereits Prototypen geflogen, und vereinzelt wurde die Aufnahme erster Services schon für 2024 angekündigt. Zur erwartbaren Geräuschentwicklung der Fluggeräte werden von Herstellerseite zumeist nur vage Angaben gemacht, oft im Vergleich zu anderen Lärmquellen: Volocopter gibt für den Schwebflug 65 dBA in 75m Entfernung an und sieht sich damit ‚3 x quieter‘ (Volocopter 2019, S.19) als ein Helikopter in gleicher Fluglage. Für den Überflug in 120 m Entfernung werden für den VoloCity ebenfalls 65 dBA angegeben, somit sei man ‚4-5 x quieter‘ (Volocopter 2021, S.16) als ein ebenso weit entfernter Hubschrauber. Die Darstellung erwartbarer Lärmwerte von eVTOLs im Vergleich zu Hubschraubern ist auch bei anderen Herstellern üblich: Archer beschreibt sein eVTOL als ‚bei Start und Landung zehnmal leiser als ein Helikopter‘ sowie als ‚im Streckenflug hundertmal leiser als ein Helikopter‘ (Archer 2022), und Joby Aviation gibt für den eigenen Prototyp an, im Schwebeflug mit 55 dB sogar tausendmal leiser als ein Hubschrauber beim Start (90 dB) zu sein (Joby 2022). Die genauen Bedingungen und Methoden solcher Messungen bleiben meist unklar und sind immer auch unter dem Gesichtspunkt des anstehenden Wettbewerbs zu sehen. Im Zusammenhang eines möglichen Ersatzes von bisherigen Hubschrauberflügen ist der Vergleich aussagekräftig. Hier haben eVTOLs einiges Potential, so könnte die Durchführung von bisher mit Helikoptern geflogenen Einsätzen im Sicherheits- oder Rettungsdienst mit leiserem Fluggerät die Lärmbelastung für die Bevölkerung gerade im urbanen Raum deutlich verringern. Dem stehen bisher jedoch noch Einschränkungen in Bezug auf Reichweite und Geschwindigkeit entgegen. Im Hinblick auf bisher mit Helikoptern durchgeführte Zubringerdienste hingegen bestehen bereits erste Absichtserklärungen, oft unterstützt von großen Airlines, zum Einsatz von eVTOL als Airport Shuttle. Diese Entwicklung wird am Beispiel New York City näher auf Nachhaltigkeit untersucht und zeigt, dass es in Ballungszentren durchaus zu einem gleichzeitigen Angebot verschiedener Anbieter mit unterschiedlichem eVTOLs kommen kann.

Für Anwohner sind dabei schon geringe Unterschiede in den Lärmemissionen bedeutsam, so wurde für die San Francisco Bay Area im Vergleich zu einem leichten Hubschrauber gezeigt, dass eine Reduzierung des Fluglärms um 15 dBA statt um 10 dBA den Flächenanteil von Werten >50 dBA um 94% verringern würde, und den Anteil von hoch lärmbelasteten Anwohnern um 91% (Rimjha et al., 2022). In den USA liegt der Grenzwert für Fluglärm in Residential Areas bei 65 dBA und wird von der FAA in Genehmigungsverfahren so auch für Betrieb von unbemannten Luftfahrzeugen außerhalb der Sichtweite angewandt (FAA 2022, p. 56). Dieser Wert wird dementsprechend auch von vielen Herstellern von eVTOLs als Zielwert in der Entwicklung angegeben, liegt aber seinerseits deutlich über dem von der WHO für Fluglärm empfohlenen Grenzwert von 45 dB L_{den} (day-evening-night-weighted sound pressure level) (WHO 2018). Somit sind eVTOLs zwar im Vergleich jeweils leiser als bisher

eingesetzte Hubschrauber, aber immer noch lauter als von der WHO zumindest für Europa empfohlen. In der Summe könnte durch die steigende Zahl von Anbietern und Flugereignissen sogar insgesamt mehr Fluglärm produziert werden, was die Dringlichkeit einer frühzeitigen entsprechenden Regulierung für die Anwohner unterstreicht.

Angesichts verschiedener möglicher Anbieter wird es für Städte und Regionen im Zuge der Etablierung von nachhaltiger Luftmobilität auch darum gehen, diejenigen Anbieter mit dem leisesten Gerät zu identifizieren und so eine lärmbasierte Auslese vorzunehmen. Hierbei können die von der EASA zurzeit vorbereiteten Richtlinien zur Vereinheitlichung von Lärmmessungen (EASA 2022a) hilfreich sein, die neben den einzuhaltenden atmosphärischen Bedingungen auch genaue Vorgaben zum Messablauf aufstellen, bis hin zur Vermeidung besonders schallabsorbierender Untergründe. Zumindest für den europäischen Raum wird so eine weitgehende Vergleichbarkeit von Lärmmessungen von urbanen Fluggeräten und damit eine belastbare Entscheidungsgrundlage hergestellt.

Ein weiteres Kriterium wird sein, inwieweit der Betrieb eines bestimmten Musters eine breite gesellschaftliche Teilhabe ermöglicht, also nutzbar ist auch mit Kindern oder für ältere Personen (Stolz et al., 2022). Darüber hinaus müssen gemäß der EU-Verordnung 1107/2006 Luftfahrzeuge grundsätzlich auch für Flugreisende mit Behinderungen oder eingeschränkter Mobilität zugänglich sein. Bisher sind entsprechende Zielvorgaben aus dem Kreis der Hersteller aber bis auf einen Einzelfall (Broadbent 2021) nicht bekannt geworden.

Inwiefern die entsprechend der Durchführungsverordnung (EU) der Kommission 2021/664 bei der Einrichtung von U-Spaces zu prüfenden Lärmauswirkungen (vgl. EASA 2022b, S.34) sowie die auf europäischer Ebene artikulierte Erfordernis zur Einbeziehung der Bürger in Hearings (ebd., S. 134) auch im ‚Konzept Einrichtung von U-Spaces in Deutschland‘ des BMDV (2022) Berücksichtigung finden, wird abschließend geprüft. Dabei wird auch auf die Einbeziehung von im Bereich des allgemeinen Fluglärms über Jahrzehnte gewonnenen Erfahrungen z.B. hinsichtlich des besonderen Wertes von ‚Community Engagement‘ (ICAO 2017) eingegangen. In der frühzeitigen Berücksichtigung solcher Erfahrungen lassen sich für eine entstehende urbane Luftmobilität Fehlentwicklungen vermeiden und möglicherweise akzeptanzförderliche Maßnahmen entwickeln.

Referenzen

- Archer (2022). eVTOL Aircraft Design - Noise and Safety. <https://youtu.be/HllvMqlyD0c>
- BMDV (2022). Konzept Einrichtung von U-Spaces in Deutschland. Bundesministerium für Digitales und Verkehr, Berlin.
- Broadbent, M. (2021). Designing the eVTOL experience for passengers with disabilities. Vertical Magazine.
- Dobranskyte-Niskota, A., Perujo, A., & Pregl, M. (2009). Indicators to assess sustainability of transport activities. European Commission, Joint Research Centre, Ispra.
- EASA (2021). Study on the societal acceptance of Urban Air Mobility in Europe. European Union Aviation Safety Agency, Köln.
- EASA (2022a). Guidelines on Noise Measurement of Unmanned Aircraft Systems. European Union Aviation Safety Agency, Köln.

EASA (2022b). AMC and GM to Implementing Regulation (EU) 2021/664 — Issue 1 Acceptable means of compliance (AMC) and guidance material (GM) to the U-space regulatory package. European Union Aviation Safety Agency, Köln.

Eißfeldt, H., Vogelpohl, V., Stolz, M., Papenfuß, A., Biella, M., Belz, J. & Kügler, D. (2020). The acceptance of civil drones in Germany. CEAS Aeronautical Journal. 665-676.

EU (2006). VERORDNUNG (EG) Nr. 1107/2006 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 5. Juli 2006 über die Rechte von behinderten Flugreisenden und Flugreisenden mit eingeschränkter Mobilität. Europäische Kommission, Brüssel.

EU (2021). Durchführungsverordnung (EU) 2021/664 der Kommission vom 22. April 2021 über einen Rechtsrahmen für den U-Space. Europäische Kommission, Brüssel.

FAA (2022). Unmanned Aircraft Systems Beyond Visual Line of Sight Aviation Rulemaking Committee, March 10, final report. Federal Aviation Agency, Washington DC.

Joby (2022). How Quiet is the Joby Aircraft during Hover? <https://youtu.be/GHmXR0wBOil>

ICAO (2017). Circular 351- Community Engagement for Aviation Environmental Management. International Civil Aviation Organization, Montreal.

Miller, N., Czech, J., Hellauer, K., Nicholas, B., Lohr, S., Jodts, E., Broene, P., Morganstein, D., Kali, J., Zhu, X., Cantor, D., Hudnall, J., & Melia, K. (2021). Analysis of the Neighborhood Environmental Survey DOT/FAA/TC-21/4. William J. Hughes Technical Center (U.S.). Aviation Research Division, Atlantic City International Airport, New Jersey.

Moore, J. E., Mascarenhas, A., Bain, J., & Straus, S. E. (2017). Developing a comprehensive definition of sustainability. *Implementation Science*, 12(1), 1-8.

Rimjha, M., Trani, A., & Hotle, S. (2022). Urban Air Mobility: Preliminary Noise Analysis of Commuter Operations. AIAA Aviation Forum, 2021-3204.

Sparrow, V.; Gjestland, T.; Guski, R.; Richard, I.; Basner, M. (2019). Aviation Noise Impacts White Paper. ICAO 2019 Environment Report Chapter 2 Aircraft Noise. International Civil Aviation Organization, Montreal.

Stolz, M., Papenfuß, A., Reimer F., & Moerland-Masic, I., (2022). Futuristic Meets Elderly – Are Seniors Potential Passengers for Air Taxis? HorizonUAM, 2nd Urban Air Mobility Symposium, DLR, Braunschweig.

UIC2 (2020). The UIC2 Manifesto on the Multilevel Governance of the Urban Sky. UAM Initiative Cities Community UIC2, Amsterdam.

UIC2 (2021). The Urban-Air-Mobility Initiative Cities Community of the EU's Smart Cities Marketplace. Practitioner briefing – Urban air mobility and sustainable urban mobility planning. UAM Initiative Cities Community, EU's Smart Cities Marketplace.

Volocopter (2019). Pioneering the Urban Air Taxi Revolution. Volocopter, Bruchsal.

Volocopter (2021). Roadmap for Scalable Urban Air Mobility. Whitepaper 2.0. Volocopter, Bruchsal.

VUL (2022). Was denken die Deutschen über unbemannte Luftfahrt? Verband unbemannte Luftfahrt, Berlin.

WHO (2018). Environmental Noise Guidelines for the European Region. World Health Organization (WHO), Regional Office for Europe, Genf.

Conclusio

Svantje T. Kähler, Helmut-Schmidt-Universität/UniBW H, Professur für Allgemeine und Biologische Psychologie

Josina Johannsen, Helmut-Schmidt-Universität/UniBW H, Professur für Öffentliches Recht, insbes. Öffentliches Wirtschafts- und Umweltrecht

Axel Czaya, Helmut-Schmidt-Universität/UniBW H, Institut für Personal und Arbeit

Katharina Goldberg, Helmut-Schmidt-Universität/UniBW H, Professur für Öffentliches Recht, insbes. Öffentliches Wirtschafts- und Umweltrecht

Die Konferenz zu Nachhaltigkeitsdimensionen der urbanen Luftmobilität konnte erste Fragen aufwerfen, strukturieren und teilweise Lösungsansätze skizzieren. Zunächst konnte festgestellt werden, dass der Gesetzgeber vor allem auf europäischer Ebene schon verschiedene Ansätze zur Gestaltung von Urban Air Mobility (UAM) vorgibt oder plant (Valentiner). Diese sollen auch die Dimensionen der Nachhaltigkeit, dabei insbesondere die soziale und ökologische Dimension, die nicht immer durch den Markt reguliert werden, einbeziehen. Dies ist zeitnah nötig, da voraussehbar bereits 2024 eVTOLS betrieben werden sollen (Biehle).

1. Herausforderungen von luftgestützter Mobilität

Im Bereich der sozialen Nachhaltigkeit wurden Themen wie Lärm (der teils erhebliche gesundheitliche Auswirkungen haben kann) und die körperliche und finanzielle Zugänglichkeit diskutiert. Eißfeldt zeigte, dass der Lärmpegel und der Frequenzbereich von Drohnen sich von dem von Flugzeugen und Hubschraubern unterscheidet. In Kombination mit der jeweiligen Flughöhe führe dies wiederum zu unterschiedlichen Emissionen für die überflogenen Gebiete. Während einige Anwendungsbereiche von Drohnen eine Verbesserung im Vergleich zu bestehenden Alternativen versprechen, blieben andere hinter den bestehenden Praktiken zurück. Ein Vergleich der Lärmbelastung für Anwohner hinge daher stark vom betrachteten Szenario ab, einschließlich der Frage, ob bestehende Dienstleistungen (wie die Überwachung von Stromleitungen) durch UAVs ersetzt oder ob neue Märkte (wie der Pakettransport oder Flugtaxi) zu einer völlig neuen Lärmquelle durch UAVs für Anwohner würden. Es sei auch wichtig sicherzustellen, dass der Messablauf bei der Bestimmung der Schallemissionen vergleichbar sei.¹ Straubinger & Schaumeier sowie Biehle wiesen darauf hin, dass UAM voraussichtlich nur einer kleinen Gruppe von Personen vorbehalten wäre, die sich die Preise

¹ Hierfür sind standardisierte Messverfahren erforderlich, die die Vergleichbarkeit unterschiedlicher Lärmmessungen gewährleisten (vgl. etwa EASA 2023). Die Auswirkungen des Fluglärms, der von der UAM verursacht wird, und die Möglichkeiten, diesen zu verringern, bilden nicht nur von Luftfahrtbehörden wie der US-amerikanischen Federal Aviation Administration (FAA) oder der EASA, sondern auch bei der NASA bedeutende Forschungs- und Handlungsfelder (vgl. z.B. NASA 2020).

für die Beförderung leisten könnten, die Lärmemission beispielsweise jedoch von Gruppen getragen werden müssten, welche nicht von den UAM/AAM Services profitieren würden.

Auch Biehle beschäftigte sich mit sozialen Auswirkungen im Rahmen einer Technikfolgenabschätzung. Er stellte neben den schon angesprochenen Nachteilen heraus, dass durch den erwarteten geringen Marktanteil auch positive Effekte dieses Transportmittels eher gering ausfallen dürften. Es käme zu Sicherheitsrisiken, Lärm- und Interessenkonflikten.

Kirschstein hob betriebswirtschaftliche Vorteile hervor, insbesondere bei hohem Verkehrsaufkommen und längeren Strecken. Er stellte als zentrale Variable für die Wirtschaftlichkeit eines Fluges die Windstärke heraus. Nur bei geringem Wind und in ländlichen Gebieten könnten etwa 5% Energie im Vergleich zum bodengebundenen elektrisch betriebenen Lieferfahrzeug eingespart werden. In städtischen Gebieten sei das Einsparungspotenzial deutlich geringer. Straubinger & Schaumeier setzten sich kritisch mit den häufig propagierten Vorteilen von elektrischen UAVs auseinander. Sowohl im Hinblick auf CO₂-Emissionen als auch auf die Energiebilanz von elektrischen UAVs im Vergleich mit anderen Transportmitteln, könnten nur in sehr spezifischen Szenarien positive Ergebnisse erzielt werden (bspw. schwieriges Terrain, Benzin vs. elektrischer Betrieb). Die erhofften Zeitersparnisse und Entlastungen im Straßenverkehr seien nach dem derzeitigen Forschungsstand nicht, oder nur in sehr abgegrenzten Szenarien zu erwarten. Bezüglich der CO₂-Emissionen warf Gaffron daher die Frage auf, welchen Nutzen UAM-Szenarien nach erfolgreicher Verkehrswende noch für den Klimaschutz hätten.

Ökologische Herausforderungen wurden aber nicht nur anhand des Klimaschutzes adressiert. Gaffron beschäftigte sich ebenfalls mit dem Schutzgut Boden und Tiere: Beim Schutzgut Boden müsse insbesondere den negativen Auswirkungen von zunehmender Flächenversiegelung entgegengewirkt werden. Hinsichtlich des Schutzgutes Tiere seien Kollisionen sowie ebenfalls negative Auswirkungen durch Lärmbelastungen durch UAM zu befürchten.²

2. Aussicht: Chancen von luftgestützter Mobilität

Es gibt verschiedene Ansätze, bei denen luftgestützte Mobilität in Bezug auf verschiedene Dimensionen der Nachhaltigkeit Vorteile bieten kann. Straubinger & Schaumeier betonten den Einsatz in Gebieten, in denen durch den Flug geografische Hindernisse überwunden werden können, sowie sorgfältig geplante Use-Cases bzw. Anwendungsszenarien, die tatsächliche Zeitersparnisse im Vergleich zu anderen Verkehrsmitteln ermöglichen würden. Im sozialen Bereich sollten Flugrouten und die Standorte von Vertiports so geplant werden, dass sie (insbesondere sozial benachteiligte) Personengruppen möglichst wenig beeinträchtigen. Tamm schlug basierend auf ihren Daten

² Nicht zuletzt wird auch die Begrünung der Städte zu einer dringenden Notwendigkeit, um den extremen Temperaturen im urbanen Raum entgegenzuwirken, die durch die Erderwärmung vermehrt auftreten (vgl. beispielsweise <https://www.urban-initiative.eu/innovative-actions-greening-cities>, letzter Abruf: 04.12.2023). Dies wird urbane Flächen beanspruchen, die für die UAM-Bodeninfrastruktur möglicherweise nicht zur Verfügung stehen, vgl. Schwägerl, C. (2023).

zur Fahrgemeinschaftsnutzung im bodengebundenen Verkehr vor, dass auch bei Personentaxis möglicherweise überschüssige Kapazitäten durch ein Sharing-Konzept zur Verfügung gestellt werden könnten und dadurch eine stärkere soziale Gerechtigkeit erreicht werden könnte. Eißfeldt betonte die Relevanz der physischen Zugänglichkeit für Personengruppen mit Einschränkungen, die von den Hersteller:innen noch nicht flächendeckend berücksichtigt werde, deren Einbeziehung jedoch Potential biete. Daneben diskutierte er auch die Schallemissionen im Zusammenhang mit Luftmobilität.

Wie Valentiner zeigte, bietet der aktuelle Rechtsrahmen im Luftverkehr bereits Möglichkeiten und zum Teil auch Vorgaben zur Steigerung von Nachhaltigkeitsaspekten im Luftverkehr. Insbesondere im unbemannten Luftverkehr bedürfe es aber noch weiterer Instrumente, um effektiv Nachhaltigkeitsziele verfolgen zu können. Hier biete insbesondere der U-Space und das – sich gerade im Entstehen befindliche – nationale U-Space-Gesetz Gestaltungsmöglichkeiten. Dabei könnten nicht nur Aspekte der ökologischen, sondern insbesondere auch der sozialen Nachhaltigkeit, etwa durch Instrumente der Beteiligung zum Zweck der Akzeptanzsteigerung, eine Rolle spielen. Daneben sah sie insbesondere auch sogenannte „Experimentierklauseln“ als Weg, die Innovation im Bereich von UAM weiter voranzutreiben. Ein Instrument, um die Bevölkerung in Implementierungsprozesse einzubeziehen, sei laut Eißfeldt Community Engagement (ICAO, 2017). Dieses sei in der Luftfahrt Standard und möglicherweise auch für den UAM/AAM-Bereich anwendbar, um eine stärkere soziale Gerechtigkeit zu erreichen. Biehle hob außerdem die kommunale Mitbestimmung hervor, die im Rahmen von Infrastrukturplanung bei UAM eine Rolle spiele. Er stellte fünf Indikatoren vor, anhand derer eine sozial gerechtere UAM gemessen und geplant werden könnte: Bezahlbarkeit, Inklusivität (bspw. physisch), Erreichbarkeit, Zufriedenheit der Nutzer, sowie keine Verschlechterung des Sicherheitsgefühls und Wohlbefinden der Gesellschaft. Eine mögliche gerechtere Nutzbarmachung für die Gesellschaft sah er in einer verzögerten Anbindung an den öffentlichen Nahverkehr, bis die Preise die Nutzung von einer breiteren Gruppe möglich machten. Jedoch könnten öffentliche Gelder besser in Transportmittel angelegt sein, welche mehr Personen gleichzeitig transportieren kann.

Auf einer Metaebene durch Szenariogestaltung forderten Fraske, Röntgen & Kloock-Schreiber, dass die verschiedenen Dimensionen der Nachhaltigkeit frühzeitig in die Szenarioentwicklung einbezogen würden. Szenarien sollten keine Widersprüche aufweisen und die Perspektiven von UAM/AAM bereits jetzt holistisch und nachhaltig betrachten. Dabei sei es besonders wichtig, den Mut aufzubringen, der Komplexität dieses Themas gerecht zu werden. Die erforderlichen Variablen würden sich im bereits erwähnten Daisymodell wiederfinden. Zudem wiesen sie darauf hin, dass trotz aller Planung disruptive Ereignisse wie Unfälle oder Finanzkrisen die Entwicklung von UAM/AAM plötzlich und unvorhersehbar beeinflussen könnten.

3. Abschließende Sätze

Die Herausgeber:innen hoffen, dass sie mit der Tagung „Nachhaltigkeitsdimensionen urbaner Luftmobilität“ am 27.04.2023 und diesem Abstractband einen konstruktiven Impuls für die Diskussion der Nachhaltigkeit der UAM leisten konnten. Den hier skizzierten Nachhaltigkeitszielen gerecht zu werden, wird für die UAM stets eine notwendige Existenzbedingung sein. Insofern wird auch in Zukunft mit einer lebhaften Diskussion der entsprechenden Fragestellungen zu rechnen sein. Das Daisymodell bietet dabei Ansatzpunkte für ein systematisches Vorgehen.

Die Tagung konnte aufzeigen, dass es konkrete (empirische) Befunde gibt, welche eine erste Abschätzung in einigen Nachhaltigkeitsdimensionen von UAM möglich machen. Diese lassen sich unmittelbar Indikatoren des Daisy-Modells zuordnen, anhand derer eine nachhaltige UAM entwickelt werden können. Neben der Betrachtung der offensichtlicheren Risiken wie Lärm- oder visuellen Belästigungen, Sicherheitsrisiken, Einflüssen auf Tiere oder deren Lebensräume, sowie Energie-, Material- und CO₂ Bilanz im Vergleich mit anderen Transportmodi, besteht vor allem die Herausforderung, wie eine breite gesellschaftliche Gruppe von dieser neuen Transportmöglichkeit profitieren kann, die sonst nur die negativen Auswirkungen zu tragen hätte. Der Gesetzgeber hat hier Optionen, sowohl Risiken einzudämmen als auch Innovationen zu fördern.

Natürlich konnten im Rahmen der Tagung nur ausgewählte Indikatoren des Daisy-Modells betrachtet werden. So fand zum Beispiel der Versicherungsmarkt weniger Beachtung. Die Existenz von Versicherungsmärkten (bzw. eine geeignete Allokation von Risiken auf solchen Märkten) ist aber Voraussetzung für risikobehaftete Aktivitäten, z.B. bei der Einführung bestimmter Innovationen (wie der UAM), oder gar für die Genese neuer Märkte. Ohne nachhaltige Risikoallokationen werden bestimmte UAM-Infrastrukturen und -dienstleistungen möglicherweise nicht oder nur fragmentiert zustande kommen können, weil die relevanten Akteure nicht dazu bereit sind, die mit den entsprechenden Aktivitäten assoziierten Risiken zu tragen. Daher besteht an dieser Stelle, wie auch an anderen, weiterer Forschungsbedarf im Bereich der luftgestützten Mobilität.

Für die Planung von Luftmobilität sollten Use-Cases bzw. Anwendungsfälle identifiziert werden, die im Vergleich zu bestehenden Systemen eine positive Bilanz bezüglich der Nachhaltigkeitsdimensionen aufweisen. Diese Anwendungsfälle sollten ganzheitlich geplant werden, um beispielsweise Infrastruktur, Recht, Wirtschaftlichkeit, Umwelt, Technik, Gesundheit und Akzeptanz gleichzeitig zu berücksichtigen. Dadurch könnten sie auch von disruptiven Ereignissen weniger stark beeinträchtigt und damit die Resilienz und Überlebensfähigkeit eines neu entstehenden UAM-Systems gestärkt werden, das für viele Interessengruppen von Bedeutung ist. Nur so wird Luftmobilität zukünftig erfolgreich sein können.

Referenzen

EASA (2023): Guidelines on Noise Measurement of Unmanned Aircraft Systems Lighter than 600 kg Operating in the Specific Category (Low and Medium Risk). EASA: Köln. <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/product-certification-consultations/guidelines-noise-measurement-unmanned-aircraft>, gesehen am 24.10.2023).

NASA (2020): Urban Air Mobility Noise: Current Practice, Gaps, and Recommendations. NASA Langley Research Center: Hampton, VA. <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20205007433/downloads/NASA-TP-2020-5007433.pdf>, gesehen am 25.10.2023.

ICAO (2017). Circular 351- Community Engagement for Aviation Environmental Management. International Civil Aviation Organization, Montreal.

Schwägerl, C. (2023): Wie bleibt das Leben in Großstädten erträglich? In Spektrum der Wissenschaft. Online, <https://www.spektrum.de/news/hitze-staedte-muessen-an-die-erwaermung-angepasst-werden/2166375>, letzter Abruf: 04.12.2023.