

Advanced Air Mobility unter dem Blickwinkel des Lärmproblems

Friedrich Thießen

Abstract

Der Beitrag beleuchtet die Lärmprobleme, welche AAM verursacht. Es liegen Studien von Fluggeräteherstellern sowie Forschungseinrichtungen vor. Dazu gibt es Analysen der US-Luftverkehrsaufsicht FAA und der europäischen Umweltbehörden. Ziel des Beitrags ist es, deren Erkenntnisse zu sichten und auszuwerten und Konsequenzen für die weitere Entwicklung der AAM im Zusammenhang mit dem Lärmproblem aufzuzeigen.

Kontakt

Prof. Dr. Friedrich Thießen
TU Chemnitz
friedrich.thiessen@wiwi.tu-chemnitz.de
Office: 0371-531-34174
Mobil: 0178-5720129

Chemnitz, Mai 2025

Bundesvereinigung gegen Fluglärm
Geschäftsstelle
Christine Jäckel
Agnes-Miegel-Str. 60
28279 Bremen

geschaeftsstelle@fluglaerm.de

Inhaltsverzeichnis

Begriffsklärung und Konzept	3
Geschäftsmodelle.....	3
Das Geräuschproblem	4
Was sagt die US-Aufsichtsbehörde FAA zum Lärmproblem?.....	4
Was sagt man in Europa?	4
Die Geräuschcharakteristika von AAM-Fluggerät	5
Verfahren der Lärmmessung.....	5
Welche Ergebnisse zeigen wissenschaftliche Untersuchungen?	6
Die Reaktion der Industrie.....	7
Wie reagieren die Aufsichtsbehörden?	8
Lärm bei den Betroffenen statt Lärm an der Quelle	9
Das Wegblenden konkreter Flugsituationen.....	9
Tatsächliche Flugsituationen	11
Ausgangssituation	11
Positionen am Boden	12
Transitionsflüge	14
Drohnenbelieferung	15
Schlussfolgerungen und Konsequenzen.....	17
Literatur.....	18

Advanced Air Mobility und das Lärmproblem

Wie man den Lärm von AAM in den Griff bekommt

Friedrich Thießen

Begriffsklärung und Konzept

Was ist Advanced Air Mobility? AAM wird als ein neues Konzept bezeichnet, Luftverkehr in Städten, zwischen Städten und zwischen Städten und Regionen zu betreiben. Laut der US-Luftaufsichtsbehörde FAA ist AAM-Luftverkehr typischerweise hoch automatisiert und elektrisch angetrieben und weist Fähigkeiten zu vertikalen Starts und Landungen auf. Mit solchen Eigenschaften können Probleme gelöst werden, die das Fliegen in dicht besiedelten Agglomerationen bisher verhinderten, was der Luftverkehrswirtschaft ganz neue Perspektiven eröffnet. Laut FAA verheiße AAM eine große Zukunft: „*more efficient, more sustainable, more equitable while creating thousands of great jobs*“ [13]. Die Arbeitsgemeinschaft europäischer Umweltbehörden (EPA-Network)¹ sieht ebenfalls eine große Zukunft: “*It may be expected that all Europeans will start seeing and hearing drones regularly in their living area before 2030*” [5].

Geschäftsmodelle

Roland Berger untersuchte, welche Geschäftsmodelle – “*use cases*“ genannt – sich um die neuartigen Fluggeräte herum entwickeln könnten [10]. Es wurden drei aussichtsreiche Modelle herausdestilliert:

1. **City Taxi:** On demand. Multicopter eVTOL. Passagier und Pilot. Bei “autonomous flights” 2 Passagiere ohne Pilot. Handgepäck. 10 bis 50 km. Metropolitan areas.

¹ Der korrekte und sperrige Name lautet: European Network of the Heads of Environment Protection Agencies – Interest Group on Noise Abatement (EPA Network). Es ist eine Arbeitsgruppe, an der 15 Behörden teilnehmen.

2. **Airport Shuttle:** Ab city ports zum Flughafen. 15 bis 50 km. Tilt-rotor eVTOL aircraft. 4 PAX plus Pilot sowie Gepäck. Definierte Routen nach Fahrplänen.
3. **Inter City:** Medium bis long-range Lufttaxiservice (50-250 km) zwischen Städten, die zu nah liegen, um traditionellen Luftverkehr zu ermöglichen, oder wo die landgestützte Transportinfrastruktur schlecht ist. Vectored thrust eVTOL aircraft. Pilot plus 6 PAX und Gepäck.

Andere Experten sehen weitere use cases im kommerziellen, militärischen und privaten Bereich. Dazu gehören Einsätze in der Landwirtschaft, im Baubereich, bei Inspektionen mit „Mapping“ und „Surveying“ sowie Photo- und Videographie, bei eiligen medizinischen Lieferungen sowie in Notfällen. Im privaten Bereich wird von „drones-for-fun“ gesprochen.

Das Geräuschproblem

Ziel des vorliegenden Beitrags ist die Beleuchtung von Geräuschproblemen. Die verwendeten Fluggeräte haben entweder mehr Eigenschaften von Hubschraubern oder von traditionellen Flugzeugen. Meist sind es irgendwie geartete Kompromisse oder Hybridmaschinen. Es werden derzeit vor allem zwei Facetten diskutiert:

- Zum einen gibt es beim innerstädtischen Fliegen das Problem des geringen Abstandes der Lärmquellen zu den Menschen. Die FAA spricht vom „*concentrated urban environments*“, in denen AAM stattfindet, was besondere Lärmprobleme hervorruft.
- Zum anderen produziert typisches AAM-Fluggerät neuartige Geräuschstrukturen mit hohen Schalldrücken in unangenehmen Frequenzbereichen. Spezielle psychoakustische Probleme werden relevant.

Was sagt die US-Aufsichtsbehörde FAA zum Lärmproblem?

Die FAA legte im Herbst 2024 einen allgemeinen Regulierungsvorschlag für AAM vor, der auch „Noise“-Aspekte umfasste [6]. Als Ziel für sich selbst sah die FAA vorrangig darin, „*public safety regarding aircraft noise*“ zu schaffen. Als Problem wird angegeben, dass das in Entwicklung befindliche Fluggerät sehr diverse Designs mit „komplexen Geräuschquellen“ gebe. Es lägen über die Geräuschstrukturen („*noise signatures*“) der sich entwickelnden Fluggeräte aber nur begrenzte Daten vor. Deshalb sei es unmöglich, jetzt schon verallgemeinerbare Regeln („*standards of general applicability*“) zu verkünden. Jedes Fluggerät würde so wieso auf die Einhaltung aktuell gültiger Normen hin geprüft.

Was sagt man in Europa?

Ebenfalls im Herbst 2024 gab die Arbeitsgemeinschaft europäischer Umweltbehörden (EPA-Network) eine Stellungnahme zu AAM heraus [5]. Der AAM wird eine große Zukunft prophezeit: „*Urban air mobility is expected to increase rapidly in the next few years*“ [5]. In der europäischen Bevölkerung bestehe eine generell positive Haltung gegenüber „urban air mobility“. Aber gleichzeitig machten Lärm- und Umweltprobleme der Bevölkerung die größten Sorgen. AAM-Fluggeräte seien nicht leise und wiesen tonale Schwankungen, wimmernde oder brummende Geräuschkomponenten auf, die als besonders störend empfunden würden. Das bedeute, dass die Geräuschprobleme eine ernsthafte Bedrohung für die weitere Entwicklung der AAM darstellen und eine ehrliche Diskussion in Gang kommen müsse.

Die Geräuschcharakteristika von AAM-Fluggerät

Was sind nun die Geräuscheigenschaften von AAM-Fluggeräten?

Im Luftverkehr wird zumeist als erstes der „Lärm an sich“, also der Schalldruck, bzw. Lärmpegel betrachtet. Werte von über 60 bis hin zu 80 oder 90 Dezibel für AAM-Fluggeräte werden dabei genannt. Zur besseren Einordnung solcher Werte wird der Lärm oft mit anderen Verkehrsmitteln verglichen (Flugzeuge, Motorräder, Hubschrauber, PKW, LKW, Schienenverkehr) [5]. Ergebnis bei AAM sei: *“not very loud compared to other vehicles”*. In wie weit solche Vergleiche überhaupt sinnvoll sind, wird weiter unten diskutiert.

Als nächstes werden die weiteren „*acoustic features*“ betrachtet. Dabei zeigt sich: Lärm von AAM-Fluggerät ist kaum mit Lärm von klassischen Verkehrsmitteln vergleichbar. Die Arbeitsgemeinschaft europäischer Umweltbehörden erkennt Eigenschaften, die als stark belästigend empfunden werden und ganz neue „*dose-response-functions*“ repräsentiert. Dies wird im nächsten Abschnitt erklärt.

Verfahren der Lärmmessung

Wie misst man überhaupt den Lärm von AAM-Fluggeräten?

Die Messmethode stellt ein erstes Problem dar. Die gebräuchlichen Messtechniken haben sich an den klassischen Luftverkehr mit flughafengebundenem Verkehr entlang definierter Flugrouten angepasst. Währenddessen findet die Advanced Air Mobility in den Städten genau neben, über oder auch unter den betroffenen Menschen statt. Man sitzt auf dem Balkon. Eine Drohne schräg unter einem wirft den Motor zum Starten an. Dann schwebt sie plötzlich neben einem, um dann weiter nach oben zu ziehen, um dann mit einem lauten Übergangsgeräusch in den Streckenflug überzugehen.

Wie misst man solchen Lärm mit einer standardisierten Methode, um ihn danach beurteilen zu können? Eigentlich müsste man AAM-Fluggerät von allen Seiten und aus naher und größerer Entfernung messen. Schäffer et al. [11] messen den A-bewerteten Schalldruckpegel in 1 m Abstand unter Freifeldbedingungen und bei einem Abstrahlwinkel von -30° zur Rotorebene, also unter und seitlich vom Fluggerät. Ob das schon das optimale Verfahren ist, wird sich erweisen. Wahrscheinlich muss man viele Varianten testen, um diejenige zu finden, die am Besten mit Belästigungswahrnehmungen korreliert.

Das zweite Problem sind die speziellen Lärmcharakteristika der AAM-Fluggeräte. Dies ist das Gebiet der *Psychoakustik*, die Geräusche in Bestandteile zerlegt. Ziel ist, die unterschiedlichen Charakteristika mit negativen (oder positiven) Hörempfindungen sowie gesundheitlichen Gefahren zu assoziieren. Im Zusammenhang mit AAM-Fluggerät werden die Merkmale der Schärfe, Rauigkeit, Tonalität und Impulshaltigkeit relevant [9] [12].

Als *Schärfe* wird eine Empfindung bezeichnet, die durch hochfrequente Anteile an einem Geräusch ausgelöst wird. Schärfe ist pegelunabhängig. D.h. bei gleichem Schalldruck wird ein Geräusch als unangenehmer empfunden, wenn es mehr hochfrequente Anteile enthält. Dies ist bei typischen Drohnen der Fall (vgl. Abb. 1).

Als *Rauhigkeit* werden sich überlagernde Frequenzen in Geräuschen bezeichnet, die als sich ändernder Lautstärkeindruck wahrgenommen werden können. Typisches AAM-Fluggerät mit vielen Motoren und Rotoren kann zu vielfältigen sich überlagernden Frequenzen beitragen.

Bei der *Tonalität* bzw. Klanghaftigkeit geht es darum, ob in einem Geräusch Einzeltöne zu hören sind oder nur ein tonloses Rauschen vorliegt. Geräusche *mit* Einzeltönen werden üblicherweise bei gleichem Schalldruck negativer empfunden, als wenn eine diffuse Geräuschkulisse vorherrscht (Abb. 1).

Wenn die Lautstärke schwankt, wird dies in der sog. *Schwankungsstärke* erfasst. Schwankt die Lautstärke sehr stark (Knall, Rammen) reagieren Menschen mit erhöhter Belästigung bis hin zu gesundheitsschädlichen Schreckwirkungen. Als Maß wird die sog. *Impulshaltigkeit* eines Geräusches verwendet. Im klassischen Luftverkehr ist diese eher gering. Die Flugzeuge starten von einem entfernten Flughafen und nähern sich dann den „*Lärmrezeivern*“, also den Betroffenen, über einen gewissen Zeitraum an, wobei der Lärm langsam zunimmt, um danach wieder langsam abzuswellen. Die Impulshaltigkeit ist niedrig. Im innerstädtischen Drohnenverkehr sind die Menschen dagegen direkt bei den startenden und landenden Fluggeräten, und die Lautstärke kann sich viel schneller ändern. Die Impulshaltigkeit kann hoch sein.

Welche Ergebnisse zeigen wissenschaftliche Untersuchungen?

Die Arbeitsgemeinschaft europäischer Umweltbehörden zitiert in ihrer Analyse vom Herbst 2024 [5] wissenschaftliche Studien, die Folgendes zeigen: Bei Quadroptern und Oktokoptern, die bisher überwiegend getestet wurden, gibt es deutliche tonale Komponenten im Geräuschespektrum. Außerdem findet man einen hohen Anteil hoher Frequenzen (Schärfe). Weitere Untersuchungen zeigen, wie Lautstärke und Schärfe eines Drohnengeräuschs von der Betriebsart abhängt (Schweben, steigen, sinken, Streckenflug), was darauf hindeutet, dass eine Optimierung der Flugmanöver zu einer geringeren Störung führen könnte. Schnelle Überflüge in großer Höhe sind mit den wenigsten Beschwerden verbunden. Währenddessen erweisen sich die Start- und Landephase als belastend. Im Schwebeflug z.B. müssen Luftturbulenzen über das Flugsteuerungssystem ausgeglichen werden. Es kommt zu unsteten, unangenehmen akustischen Signaturen.

Insgesamt deuten die verfügbaren Studien – bisher vor allem zu Drohnen – darauf hin, dass die Lautstärke (i), die Tonalität (ii) und die Schärfe (iii), also hochfrequente Lärmbestandteile, sowie je nach Flugmanöver auch schnelle Lautstärkeschwankungen die wichtigsten negativen Elemente des Geräuschespektrums sind.

Zur Verdeutlichung der Probleme zeigt Abb. 1 einen Vergleich des Geräuschespektrums von 4 verschiedenen Verkehrsmitteln. Deutlich zu erkennen ist der hohe Hochfrequenzanteil sowie die tonalen Komponenten (sichtbar als Spitzen im Spektrum) bei den Drohnen.

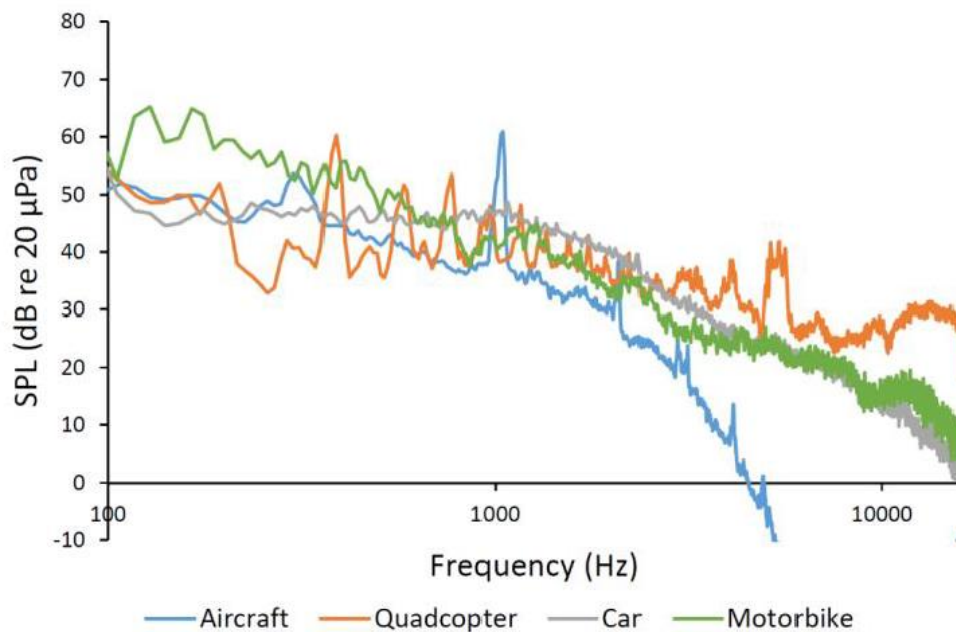


Abb. 1: Frequenzen und Lautstärken verschiedener Transportmedien
 Quelle: EPA-Network [5], S.18.

Die Reaktion der Industrie

Wie verhält sich die Industrie zum Lärmproblem?

Hersteller negieren das Lärmproblem nicht. Sie verwenden aber Methoden, die das Lärmproblem verniedlichen. Möglicherweise spekulieren sie darauf, dass, wenn das AAM-Geschäft erst einmal in Gang gekommen ist, der Staat schon helfen wird, dass es nicht wieder zurückgefahren werden muss – z.B. wegen des Lärms. Eine Argumentation lautet, dass, wenn die Lärm-minderung an der Quelle zu einer *Gewichtssteigerung* der AAM-Fluggeräte führte und man gleichzeitig, um die Menschen zu schützen, noch überall *Lärmschutzbereiche* auswiese, die Kosten pro Flugkilometer so stark ansteigen könnten, dass der AAM-Luftverkehr von vornhe-rein unwirtschaftlich würde.

Eine viel verwendete Methode der Industrie, das Lärmproblem zu verschleiern, besteht darin, das AAM-Fluggerät mit anderen Geräuschen zu vergleichen. Airbus z.B. ging auf die FAA zu mit einem Vergleich von nicht näher bezeichneten AAM-Fluggeräten mit dem Lärm von „large airplanes“. Diesen Vergleich lehnte die FAA ab ([6] Sec91.129h).

Lilium aus Deutschland vergleicht den Lärm ihres Fluggerätes mit diversen anderen Ver-kehrsmitteln und kommt zu sehr günstigen relativen Geräuschpegeln (siehe Abb. 2).

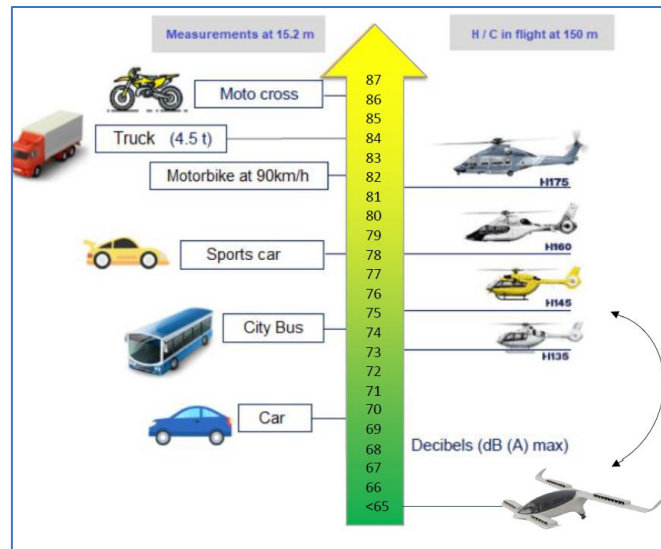


Abb. 2 "Noise comparison table" eines Herstellers von AAM-Fluggerät

Quelle: Lilium (2023) [8]

Erläuterung: Die Abbildung zeigt, wie ein Hersteller von AAM-Fluggeräten das Lärmproblem visualisiert. Es wird ein Vergleich mit alternativen Verkehrsmitteln durchgeführt, ohne aufzuzeigen, in welchen Situationen Lärm überhaupt auftritt und welche Vergleiche sich anbieten bzw. gar nicht sinnvoll sind.

Joby Aviation (<https://www.jobyaviation.com/>) und Archer Aviation (<https://archer.com/>), die beide zwischen dem JFK Airport in New York und Heliports down town NYC Pendelverkehr anbieten wollen, argumentieren, dass ihr Fluggerät vor dem Hintergrund des typischen Geräuschpegels in New York praktisch unhörbar sei. Archer behauptete, dass sein Midnight eVTOL-Modell in Reiseflughöhe im Streckenflug bis zu 100-mal leiser sei als ein Hubschrauber, so dass es vom Straßenniveau aus praktisch nicht zu hören wäre.

Wie reagieren die Aufsichtsbehörden?

Aufsichtsbehörden lehnen simple Vergleiche auf der Ebene der Lärmquellen eher ab. Nicht der Vergleich von *Emissionen* an der Quelle, sondern die Belastung aus Betroffenen-sicht, also die *Immission* bei den Lärmreivern, ist entscheidend. Dazu muss ein Bezug des Lärms zur konkreten Flugsituation hergestellt werden. Man kann nicht eine Maschine „an sich“, also etwa ein in einem Labor betriebenes Gerät, nehmen und dessen Geräuschpegel mit einer anderen Maschine „an sich“ vergleichen. Es kommt darauf an, in welcher konkreten „*Flugsituation*“ die Maschine ein bestimmtes Geräusch erzeugt und Lärmreceiver damit belastet. Da bei AAM die Fluggeräte „*relativ nahe an den Menschen und Häusern vorbeifliegen*, kann die *Lärmimmission auf Ebene der Betroffenen signifikant sein*“ (Zitat Arbeitsgemeinschaft europäischer Umweltbehörden [5]). Ein klassisches Flugzeug ist nie so nah bei den Menschen.

In dicht besiedelten Agglomerationen können Menschen neuen Lärmquellen nicht ausweichen. Der größte Teil des täglichen Lebens der Menschen spielt sich in diesen Städten ab. Europäische Städte bestehen typischerweise aus einem Netz stärker verlärmter Hauptverkehrsstraßen, denen ruhigere Nebenstraßen gegenüberstehen. Die typische Bebauung europäischer Städte ist die Blockbebauung. Die Blocks oder Carrés sind außen mit dem (Verkehrs-) Lärm der Stadt belastet, während im inneren der Blocks die Innenhöfe eher ruhig sind, wo man dem Stress der Stadt entfliehen kann.

Lärm bei den Betroffenen statt Lärm an der Quelle

Das bedeutet zusammenfassend:

Entscheidend für die Lärmbeurteilung von AAM sind nicht die Fluggeräte an sich. Die können – überspitzt formuliert – so laut sein, wie sie wollen. Entscheidend ist der Lärm aus der „receiver position“ heraus, also aus Sicht der Lärmbetroffenen. In den dicht besiedelten Agglomerationen kommt es zu neuartigen *Flugsituationen*, die im Rahmen der verschiedenen Geschäftsmodelle auftreten. Der dabei bei den „receivern“ ankommende Lärm ist der relevante.

Das Wegblenden konkreter Flugsituationen

In der Konsequenz heißt es, die *Flugsituationen* zu betrachten, die bei AAM vorkommen können und die jeweils Betroffenen zu ermitteln. Dann muss man festlegen, wie viel Lärm ihnen zugemutet werden sollte.

Wie werden nun die konkreten *Flugsituationen* derzeit behandelt? Wenn man sich Werbematerial der Industrie anschaut, dann erkennt man, dass genau hier, d.h. bei den zu betrachtenden Flugsituationen, oftmals sehr beschönigende Angaben und Darstellungen zu finden sind. Das betrifft aber nicht nur die Industrie. Auch bei Verbänden, Aufsichtsbehörden und in Politikbroschüren findet man gleichlautende Beispiele.



Abb. 3: Werbefilm mit Transportdrohne, die Güter ablegt
Quelle: Manna Drone Delivery; <https://www.youtube.com/watch?v=oTJKo15rqtc>

Abb. 3 rechts zeigt aus einem Werbefilm eines Lieferdienstes eine Transportdrohne, die ein Päckchen mit bestellten Lebensmitteln abliefern – am Rande einer waldähnlichen Grünzone. Wenn es das Ziel des Geschäftsmodells wäre, Dinge in Wälder zu bringen, wäre das ok. Aber es geht um städtische Familien, die im städtischen Umfeld leben. Wie repräsentativ ist in so einem Geschäftsmodell die gezeigte waldähnliche Flugsituation, wo niemand gestört wird?

Abb. 4 zeigt einen Vertiport auf einem Ponton, wobei die Umgebung ausgeblendet wird. Die gesamte Flugsituation erscheint nicht. Man sieht nur das Wasser und den Ponton.



Abb. 4 Vertiport auf einem Ponton

Quelle: Lilium 2023 [8]

Erläuterung: Die Abbildung visualisiert einen Vertiport auf einem Ponton auf einem Fluss oder See. Drumherum ist keine Wohnbebauung zu finden. Der Ausschnitt ist so gewählt, dass eine evtl. Nähe zur Wohnbebauung und daraus resultierende Konflikte ausgeblendet bleiben.

Abb. 5 zeigt aus einer Broschüre der Bundesregierung eine Transportdrohne im Einsatz. Offenbar findet dieser Einsatz weit entfernt von der Stadt und den Wohnungen der Betroffenen statt. Wo die Drohne ihre Last ablegen könnte, wird durch den unscharfen Hintergrund vage angedeutet. Die kritischen Flugsituationen des Transportauftrages werden aber ausgeblendet. Gezeigt wird nur eine absolut unkritische Situation, in der niemand etwas gegen selbst lauteste Drohnen hätte.



Abb. 5 Drohnenbelieferung

Quelle: Publikation der Bundesregierung (2020) [2]

Erläuterung: Drohnenbelieferung aus Sicht der deutschen Bundesregierung.

Abb. 6 zeigt die Werbebroschüre einer ICAO-Konferenz aus dem Jahr 2024, in der AAM-Luftverkehr in einer großen Stadt dargestellt wird. Wieder ist die Flugsituation so gewählt, dass Betroffene nicht auftauchen und weit entfernt scheinen. Selbst der Abstand zu den Bürohochhäusern ist groß. Wohnbebauung kommt gar nicht vor.



Abb. 6 AAM-Fluggeräte in einer Großstadt
Quelle: ICAO [7]

Abb. 7 zeigt, dass auch die FAA derartige Visualisierungen im Programm hat. Die dargestellten Flugsituation ist so gewählt, dass ein großer Abstand zwischen dem hoch fliegenden AAM-Fluggerät und den tief darunter liegenden menschlichen Behausungen gezeigt wird.



Abb. 7 Drohnenverkehr hoch über der Stadt
Quelle: Internetseiten der FAA (2025) [13]

Erläuterungen: Die Szene zeigt eine Flugsituation, die sich hoch über der Stadt abspielt. Lärmprobleme dürfte es in solch einer Flugsituation kaum geben.

Zusammenfassend kann gesagt werden: Fast übereinstimmend visualisieren Unternehmen der Industrie, Verbände, Aufsichtsbehörden und die Politik Geschäftsmodelle der AAM derart, dass keine geräuschbelastenden Flugsituationen dargestellt werden. Gebäude sind weit weg. Wohngebäude tauchen gar nicht auf. Die Belieferung erfolgt in Grünzonen ohne gestörte Menschen.

Tatsächliche Flugsituationen

Die gezeigten Beispiele machen deutlich, dass in eher werbenden Medien hauptsächlich solche Flugsituationen gezeigt werden, bei denen die lärmbeeinträchtigten Menschen weit weg sind und bei denen es im Grunde gar keine Lärmprobleme gibt. Dies zu suggerieren, ist wahrscheinlich auch Ziel der Bilder.

Wie sieht es tatsächlich aus?

Ausgangssituation

Als Ausgangssituation wählen wir eine typische Stadtstruktur. Diese besteht, wie die Abbildung 8a zeigt, aus Hauptstraßen, die den Großteil des Verkehrs übernehmen. Dazu gibt es Nebenstraßen, die deutlich ruhiger sind. Die Bebauung einer Stadt ist typischerweise Blockbebauung mit Innenhöfen, die bebaut oder begrünt sein können und vom Verkehrslärm abgeschottet sind. Dazu kommen in der Stadt Weitungen und freie Flächen, die Parks oder Spielplätze sein können.

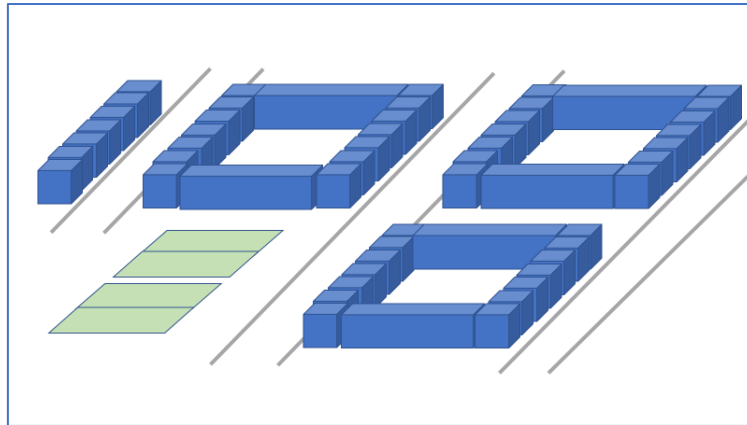


Abb. 8a Typische Stadtstruktur

Quelle: eigene Berechnung

Erläuterung: Die Abbildungen zeigt eine stilisierte Stadtstruktur. Sie besteht aus breiteren und verlärmeren Hauptverkehrsstraßen (Mitte) sowie leiseren Nebenstraßen (rechts und links). Die Gebäude haben häufig Blockstrukturen. Ab und an gibt es nicht bebaute Flächen, die Erholungszone sein können.

Positionen am Boden

Als Vertiports werden die Flächen bezeichnet, die im städtischen Umfeld für Starts und Landungen reserviert sind (s.o.). Vertiports können auf ebener Erde oder auf Parkhausdächern o.ä., evtl. auch von Pontons auf Flüssen und Seen angeordnet sein.



Abb. 8b Situation am Boden

Quelle: eigene Darstellung

Erläuterung: Die Abbildungen zeigt die Situation eines Vertiports am Boden. Lärmbetroffen sind die unteren Stockwerke von Gebäuden. Ein Vergleich des Lärms mit anderen Verkehrsmitteln ist zulässig.

Wenn Vertiports auf dem Straßenniveau vorgesehen sind, dann konkurriert der Lärm des AAM-Fluggerätes zunächst mit dem anderer Verkehrsmittel (vgl. Abb. 8b). Für diese Flugphase, also die „Vorbereitungen zum Start“ sowie das „Abklingen nach der Landung“ sind Vergleiche mit Bussen, PKW oder Motorrädern sinnvoll und zulässig (s.o.). Viele Fluggerähersteller nehmen solche Vergleiche vor und zeigen, dass ihre Geräte nicht lauter als z.B. Motorräder seien.

Wenn man allerdings Lärmvergleiche mit anderen Verkehrsmitteln vornimmt, dann sind auch weitere Aspekte zu beachten, nämlich (i) Häufigkeiten der Flugbewegungen und (ii) Zahl transportierter Passagiere: PKW-Verkehr auf Straßen ist „häufig“ und verursacht ein

permanentes Rauschen. Busse und Bahnen fahren dagegen in Takten, z.B. alle 20 Minuten, was an- und abschwellenden Lärm erzeugt. Wenn AAM-Flugverkehr ebenfalls im 20-Minuten-Takt stattfände, aber nur jeweils wenige PAX mitnähme, könnte das Nutzen/Lärm-Verhältnis ungünstig sein. Ein Vergleich mit den Geräuschen von Bussen und Bahnen, die pro Lärmereignis deutlich mehr Passagiere mitnehmen, wäre nicht zulässig. Der richtige Vergleich wären eher Verkehrsmittel mit ebenfalls geringer Transportleistung, wie z.B. terrestrische Taxis. Diese haben aber den Vorteil, praktisch keinen Zusatzlärm zu verursachen. Das wäre dann auch die Forderung an AAM-Flugverkehr in dieser Phase.

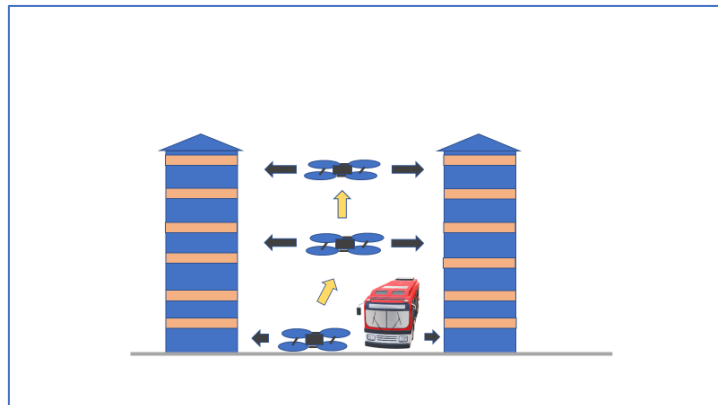


Abb. 8c Situation bei Start und Landungsanflug

Quelle: eigene Darstellung

Erläuterung: Die Abbildung visualisiert die erste Startphase. Das AAM-Fluggerät steigt hoch und verlärmte die höheren Stockwerke von Gebäuden. Ein Vergleich mit anderen Verkehrsmitteln ist nicht mehr zulässig.

Abb. 8b beleuchtet, dass ein AAM-Fluggerät, das im städtischen Bereich einen Vertiport nutzt, durchaus mit anderen Fahrzeugen verglichen werden kann, *wenn und solange* es sich am Boden befindet. Wenn das Fluggerät dann aber aufsteigt (Abb. 8c), kommt es den ruhigeren Wohnungen in den höheren Stockwerken nahe und führt neuartigen und nicht mit traditionellen Verkehrsmitteln vergleichbaren Lärm bei den receivern herbei.

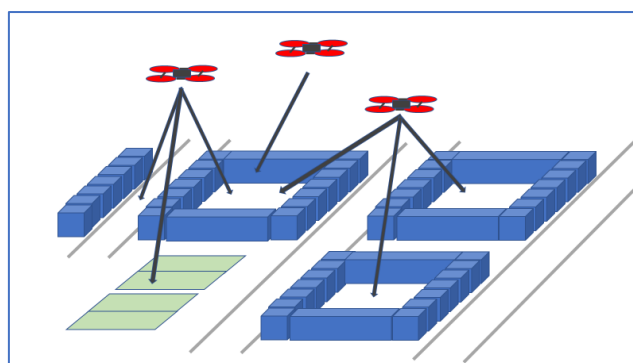


Abb. 8d Weiterer Höhengewinn

Quelle: eigene Darstellung

Erläuterung: Die Abbildung visualisiert die Lärmausbreitung bei weiterem Höhengewinn. Der Lärm dringt von oben in die ruhigeren Nebenstraßen und geschützten Innenhöfe ein.

Abb. 8d zeigt: Wenn das AAM-Fluggerät dann weiter aufsteigt, gelangt der Lärm in die eher geschützten Bereiche des städtischen Lebens: nämlich in die bisher eher ruhigeren, verkehrsberuhigten Nebenstraßen, die entfernt von den verlärmten Hauptverkehrsachsen liegen, und auch in die ruhigen Innenhöfe der stadtypischen Blockbebauung.

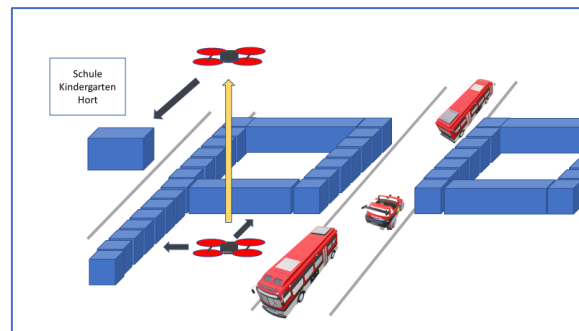


Abb. 8e Sensible Bereiche

Quelle: eigene Darstellung

Erläuterung: Sensible Einrichtungen wie Schulen oder Kindergärten liegen oft an lärmgeschützten Bereichen abseits der Hauptverkehrsflächen. Dieser Schutz wird durch AAM hinfällig, weil die Orte in dem Moment vom Lärm erreicht werden, in dem das AAM-Fluggerät die nötige Höhe erreicht hat.

Abb. 8e beleuchtet, dass dabei auch sensible Einrichtungen wie Schulen oder Kindergärten betroffen sein können, die man traditionell gerade nicht unmittelbar an lauten Hauptverkehrsachsen errichtet.

Transitionsflüge

Als Transitionsflug wird der Übergang vom Start zum Streckenflug bzw. vom Streckenflug zur Landung mit VTOL- oder STOL-Technik bezeichnet. Diese Übergangs-Flugphase kann kritisch sein. Teilweise sind in dieser Phase erhöhte Triebwerksleistungen erforderlich. Es kann zu erhöhten Lärmemissionen kommen. Auch sind bei einigen Fluggeräten belastende Frequenzen in dieser Flugphase beobachtet worden.

Welche Konsequenzen ergeben sich: Flugrouten müssen so geplant werden, dass die Transitionsphasen räumlich gesehen dort liegen, wo Schalldruck und Frequenzen am stadtverträglichsten sind. Allerdings kann man es sich kaum vorstellen, dass es überhaupt sinnvoll ist, irgendeinen Teil einer Stadt – Ausnahme vielleicht Gewerbegebiete – alle paar Minuten mit einem Aufheulen eines in der Transitionsphase befindlichen AAM-Fluggerätes zu überziehen. Wahrscheinlich muss man in diesem Punkt bereits bei der Konstruktion der AAM-Fluggeräte ansetzen und Transitionslärm an dieser Stelle verhindern.

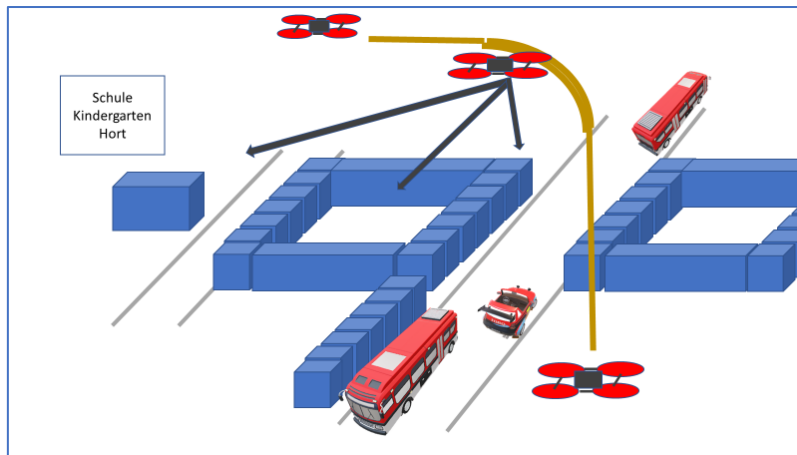


Abb. 8f Transitionsflug

Quelle: eigene Darstellung

Erläuterung: Der Übergang vom senkrechten Starten und Landen zum waagrechten Streckenflug kann besondere Triebwerkleistungen erfordern und entsprechend lärmintensiv sein. Es kann zu unangenehmen an- und abschwellenden Lärmbelastungen kommen.

Abb. 8g schließlich zeigt, dass Flugrouten über die bisher eher ruhigen Nebenstraßen und Innenhöfe verlaufen und diese verlärmen können, welche bisher eher ruhig waren.

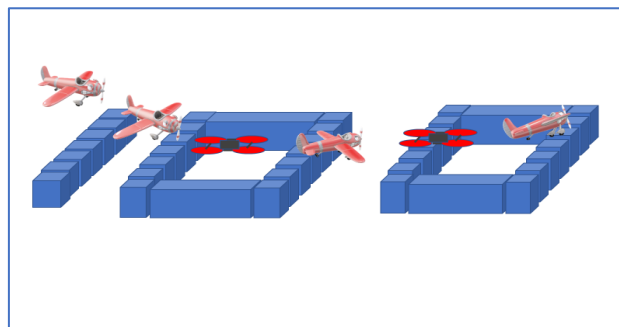


Abb. 8g Überflug

Quelle: eigene Darstellung

Erläuterung: Die Abbildung weist auf das Problem des Überflugs von städtischen Strukturen hin, um Vertiports zu erreichen. Darunter können Bereiche sein, die bisher von Lärm eher verschont waren (im Bild Innenhöfe).

Drohnenbelieferung

Die Belieferung mit kleineren Warensendungen durch Drohnen wird seit längerem diskutiert und ausprobiert. Es ergeben sich folgende Situationen:

- In *einsamen* und *entfernten* Gegenden könnte eine Nutzen/Kosten-Rechnung zugunsten von drone delivery ausfallen auch dann, wenn es zu erheblicher Lärmbelastung kommen sollte, weil die Alternativen besondere Nachteile haben.
- In *dichter besiedelten* Räumen dagegen kann die Lärmbelastung viele Menschen treffen und zu einem ungünstigen Nutzen/Kosten-Verhältnis führen. Es gibt in dichter besiedelten Räumen viele *Alternativkonzepte* zur Belieferung mit Waren. Auf

Drohnen Transporte ist man nicht angewiesen. Deshalb ist kein Grund zu erkennen, eine höhere Lärmbelastung zu akzeptieren.

Forderung/Vorschlag: Erlaubter Lärm in dichter besiedelten Räumen max. in der Höhe eines zusätzlichen Postlieferwagen, der einmal täglich eine Straße abfährt und beliefert.



Abb. 8h Drohnenbelieferung

Quelle: Publikation der Bundesregierung (2020); eigene Darstellung

Erläuterung: Wie sich eine Drohnenbelieferung im ländlichen Raum abwickeln soll, wurde bisher noch nicht konkret ausgearbeitet. Das Bild rechts stilisiert die Aktivitäten konkurrierender Lieferdienste in einem Ort. Links findet sich eine werbewirksame Visualisierung der Bundesregierung ohne Bezug zu konkreten Örtlichkeiten. Die riesige Stadt im Hintergrund wird scheinbar von einer einzigen Drohne beliefert. Eigentlich müssten angesichts der angedeuteten Stadtgröße tausende, wenn nicht zehntausende von Drohnen herumschwirren.

Schlussfolgerungen und Konsequenzen

Wie sehen die Schlussfolgerungen und Konsequenzen aus?

AAM-Fluggerät ist nicht so leise, wie sich das manche erhofft haben. Elektrisches Fliegen ist nicht mit elektrischem PKW-Verkehr vergleichbar. Schalldruck (Lautstärke) und spezielle akustische Phänomene (Schärfe, Rauigkeit, Tonalität und Impulshaltigkeit) machen Probleme.

Wie können diese gelöst werden?

- *Aufsicht.* Nach Ansicht von US- und europäischen Aufsichtsbehörden sollten weiterhin Maßnahmen „*an der Quelle*“ erforscht werden, die zu niedrigeren Schalldrücken und einer weniger störenden Geräuschqualität der AAM-Fluggeräte führen. Auch kann an einer Optimierung von *Flugmanövern* gearbeitet werden, um Belastungen zu mindern. Desweiteren werden *Flugverbotszonen* und *-zeiten* vorgeschlagen.
- *Industrie.* Von der Industrie wird vor zu strikten Anforderungen an Schallemissionen von AAM-Fluggeräten gewarnt, die zu einem frühzeitigen Abwürgen der neuen Technologie führen könnten. Man darf eine Technologie nicht mit unerfüllbaren Forderungen von vornherein totregulieren.
- *Wissenschaft.* Nach Ansicht der wissenschaftlichen Literatur kommt es nicht darauf an, den Lärm an der Quelle zu minimieren. Es kommt nur darauf an, dort, wo der AAM-Flugverkehr stattfindet, die *Lärmreceiver* nicht ungebührlich zu belasten.

Nicht der Maschinenlärm an sich, sondern dasjenige, was an Immission bei den Lärmrezeivern ankommt, ist entscheidend. Man muss die *Flugsituationen* betrachten und dort gezielt Lärmgrenzen setzen. Daran passen sich dann die Geschäftsmodelle an.

Ein Vertiport in einem Industrie- oder Gewerbegebiet oder auch in einer Bürostadt kann nicht mit den gleichen Lärmvorschriften konfrontiert werden, wie ein Vertiport in einem Wohngebiet. Die noch zu entwickelnden Lärmgrenzen sollten sich deshalb nicht auf das Fluggerät an sich konzentrieren, sondern auf die jeweiligen Flugsituationen und dort aus Sicht der betroffenen Lärmreceiver Grenzen setzen. Vertiports in Wohngebieten, VTOL-Verkehr entlang von Hausfassaden, Streckenflüge über bisher ruhige Innenhöfe oder Nebenstraßen sind kritische Flugsituationen, die mit strengen Auflagen versehen werden müssen. Dagegen kann dem Fliegen in Gewerbe- und Industriegebieten mehr Freiraum gewährt werden.

Dieser Ansatz, also die getrennte Betrachtung des Fluglärms je nach *Flugsituation*, engt die Entwicklung von AAM-Fluggeräten nicht ein. Vielmehr wird nur klar, *wo* mit strengeren und *wo* mit lascheren Regeln zu rechnen ist. Damit werden die sich entwickelnden *Geschäftsmodelle* von vornherein in die richtigen Bahnen gelenkt. Es wird Fluggerät geben, das nur in Industriegebieten und am Stadtrand wird starten und landen können, und es wird Fluggerät geben, dass mitten in die Agglomerationen gelassen werden kann.

Letztlich braucht man die Grenzwerte noch *nicht* einmal *jetzt* schon festzulegen. Wenn die Entwickler und Hersteller wissen, in welche Richtung sich die Gesellschaft bewegt, werden sie leicht selbst erkennen, welche Geschäftsmodelle mit ihren jeweiligen Fluggeräten in welchen Gebieten machbar sein werden und welche nicht. Das Verlärmern bisher ruhiger Stadtbe- reiche wie Innenhöfe oder verkehrsarme Nebenstraßen durch AAM-Flugverkehr, den einige

wenige Begüterte nutzen, um mehr Spaß zu haben oder schneller als andere voranzukommen, wird nicht auf soziale Akzeptanz stoßen. Für die Stadtplanung kann das heißen, heute schon darüber nachzudenken, wo in ihrer Stadt Vertiports und Flugrouten überhaupt sein könnten, die auch von lauterem Fluggerät genutzt werden können. Daran können sich dann die Fluggerätehersteller anpassen.

Die Regulierer (FAA, Arbeitsgemeinschaft europäischer Umweltbehörden) schlagen darüber hinaus vor, über *Flugverbotszonen* und *Flugverbotszeiten* nachzudenken, was aber in diesem Artikel nicht weiter untersucht wurde.

Literatur

- (1) BMDV (2024), *Advanced Air Mobility Strategy des BMDV – Aufbruch in eine neue Ära der Luftfahrt*, Bundesministerium für Digitales und Verkehr, November, Berlin
- (2) Bundesregierung (2020), *Unbemannte Luftfahrtsysteme und innovative Luftfahrtkonzepte*, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Berlin
- (3) Dirks, Jan (2022), *Quo Vadis U-Space?*, Vortrag 12. Mai 2022, Dr. Jan Dirks, Bundesministerium für Digitales und Verkehr, Arbeitsgemeinschaft Deutscher Fluglärmkommissionen, Berlin
- (4) EPA-Network (2019), *Overview of critical noise values in the European Region*, M+P raadgevende ingenieurs BV, o.O.
- (5) EPA-Network (2024), EPA Interest Group on Noise Abatement, „*Report Noise from Drones - final 12.9.2024*“, erstellt durch M+P raadgevende ingenieurs BV, o.O.
- (6) FAA (2024), *Integration of Powered-Lift: Pilot Certification and Operations; Miscellaneous Amendments Related to Rotorcraft and Airplanes*; Federal Aviation Administration Department of Transportation
- (7) ICAO (2024), *Advanced Air Mobility Symposium*, Montreal
- (8) Lilium (2023), *Revolutionizing sustainable, high speed regional air mobility*, Präsentation März 2023, Lilium N.V.
- (9) O.V. (2023), *Psychoakustik: Das Hörerlebnis verstehen*; verfügbar im Internet: <https://www.ansys.com/de-de/blog/understanding-psychoacoustics>
- (10) Roland Berger (2024), *Advanced Air Mobility on the runway to commercialization – a closer look at eVTOL unit economics*, DLR, Roland Berger, München
- (11) Schäffer, B. u.a. (2021), *Drone Noise Emission Characteristics and Noise Effects on Humans—A Systematic Review*, International Journal of Environmental Research and Public Health, Vol. 18, 2021
- (12) Zeller, Peter (2012), *Psychoakustik*, in: Handbuch Fahrzeugakustik, Springer Verlag
- (13) FAA-Internet (2025), *Advanced Air Mobility / Air Taxis*, verfügbar in: <https://www.faa.gov/air-taxis>