

ZUKUNFTSSTUDIE E-FLIEGEN

Vorbereitende Kurzstudie zum Aufbau eines Testfelds für energieeffizientes, elektrisches und autonomes Fliegen in Baden-Württemberg



LR BW

Forum Luft- und Raumfahrt
Baden-Württemberg e.V.

ZUKUNFTSSTUDIE E-FLIEGEN

Vorbereitende Kurzstudie zum Aufbau eines Testfelds für energieeffizientes,
elektrisches und autonomes Fliegen in Baden-Württemberg

MAXIMILIAN WERNER | DANIEL DUWE

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO

CHRISTOPHER BUSCH

Forum Luft- und Raumfahrt Baden-Württemberg

IN ZUSAMMENARBEIT MIT:



Universität Stuttgart
Institut für Arbeitswissenschaft und
Technologiemanagement IAT



Universität Stuttgart
Institut für Flugzeugbau

e-mobil ^{BW}

VOLOCOPTER



INHALT

1	Vorwort	4
2	Kurzfassung	6
3	Projektvorstellung	8
3.1	Ausgangssituation und Motivation	8
3.2	Ziele des Vorhabens.....	11
3.3	Aufbau und Vorgehensweise.....	12
4	Ausarbeitung einer Bewertungsgrundlage für die Standortanalyse des Testfeldes	13
4.1	Identifikation von Anwendungsszenarien für automatisierte und elektrifizierte Fluggeräte	13
4.2	Beschreibung von Testszenarien für automatisierte und elektrifizierte Fluggeräte.....	17
4.3	Ableitung von Anforderungen an zukünftige Flugfelder	18
4.4	Leistungsindikatoren zur Evaluation möglicher Flugfelder	21
5	Standortanalyse und -evaluation	26
6	Handlungsempfehlung	30
7	Literaturverzeichnis	31

1 VORWORT

Am 10. April 2017 fand der von der Ministerin für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau des Landes Baden-Württemberg, Frau Dr. Hoffmeister-Kraut, einberufene Luft- und Raumfahrtdialog Baden-Württemberg statt. An diesem Termin verständigte man sich darauf, die baden-württembergische Luft- und Raumfahrtbranche durch Leuchtturmprojekte zu unterstützen. Um insbesondere den Mittelstand zu stärken, stehen hierbei Zukunftstechnologien im Fokus, welche die regionale Branche und damit den Standort Baden-Württemberg wettbewerbsfähig halten. Vor dem Hintergrund der aktuellen gesellschaftlichen Herausforderungen wie der zunehmenden Urbanisierung, die bestehende Verkehrssysteme an ihre Belastungsgrenzen führt, aber auch gesellschaftlichen Trends wie einem steigenden Umweltbewusstsein müssen neue technologische Lösungen identifiziert, erprobt und zur Marktreife entwickelt werden, die auf diese Entwicklungen Antworten liefern. Hierbei gilt es, technologische Trends wie die Elektrifizierung der Antriebsstränge von Automobilen und zunehmend auch Flugzeugen oder der Digitalisierung von Geschäftsprozessen zu berücksichtigen.

Deshalb konzipierte das Forum Luft- und Raumfahrt Baden-Württemberg e.V. (LR BW), der regionale Branchenverband in Baden-Württemberg für die Luft- und Raumfahrtindustrie, im Sommer 2017 ein Leuchtturmprojekt zur Planung eines Testfeldes zur Entwicklung von Konzepten zum Thema energieeffizientes, autonomes, elektrisches Fliegen. Ziel ist es, in Baden-Württemberg eine Industrie und Zulieferkette aufzubauen, die ein solches Flugobjekt bereitstellen beziehungsweise den elektrischen Antriebsstrang, Sensoren, Leichtbauweisen, Informations- und Kommunikationstechnik sowie Künstlicher Intelligenz für potenzielle Anwendungsgebiete abdecken kann.

Die Anwendungsgebiete dieser neuartigen 3D-Mobilität sind sehr vielseitig. So können elektrisch betriebene Flugzeuge beziehungsweise Senkrechtstarter, wie zum Beispiel Quadroptopter Regionalflughäfen verbinden und die großen Flughäfen entlasten. Darüber hinaus bieten diese Flugtaxi die Möglichkeit, neue klimafreundliche und emissionsarme, intermodale Verkehrskonzepte zu etablieren. Weitere Einsatz- und Anwendungsgebiete reichen von der Logistik, über die Überwachung von zum Beispiel Naturschutzgebieten bis zur Wartung von schwer erreichbaren Gebäuden oder Anlagen. Unbemannte, autonome Flugsysteme könnten diese Aufgaben klimafreundlich und effizient umsetzen.



Im Sommer 2018 erhielt schließlich das Forum Luft- und Raumfahrt Baden-Württemberg für das Konzept großen Zuspruch und durfte in Zusammenarbeit mit Volocopter, dem Fraunhofer IAO, der Universität Stuttgart und der Landesagentur e-mobilBW eine Studie im Auftrag des Ministeriums für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg anfertigen, um ein geeignetes Testfeld für die Demonstration und die Erprobung von 3D-Mobilität in Baden-Württemberg zu finden. Zudem ist beabsichtigt, an dem geeigneten Standort einen Forschungsflughafen durch die Universität Stuttgart zu etablieren.

Inzwischen ist bekannt, dass weitere Testregionen zu diesem Thema beispielsweise auch in Aachen, Hamburg, Ingolstadt, Enschede und Münster geplant sind. Baden-Württemberg ist jedoch aufgrund der frühzeitigen Projektierung hervorragend aufgestellt, um als First Mover in Deutschland die ersten Testflüge und Demonstrationen durchzuführen und unter Beweis zu stellen, dass es der Innovationsstandort Nr. 1 in Europa auf diesem Gebiet ist. Das Testfeld soll den vielen Zulieferbetrieben und Komponentenherstellern in Baden-Württemberg auch als Plattform dienen, um ihre neuen Entwicklungen zu testen.

Die gewonnenen Forschungserkenntnisse könnten der ansässigen Luft- und Raumfahrtindustrie in Baden-Württemberg zu Gute kommen, sodass womöglich weitere Hidden-Champions und Technologieführer entstehen, welche den Technologiestandort Baden-Württemberg nachhaltig stärken. In Baden-Württemberg arbeiten derzeit über 15.000 Beschäftigte in der Luft- und Raumfahrtbranche. Jährlich werden etwa 5 Mrd. Euro umgesetzt. Die hochinnovative Branche ist die Hightech-Schmiede in der baden-württembergischen Wirtschaft insbesondere auch durch ihren Querschnittscharakter, durch den sie in und mit anderen Industriezweigen wirkt (zum Beispiel Automobilindustrie, Maschinenbau, Windkraft, effiziente Heizungstechnik).

Mit der Studie haben wir gezeigt, dass wir in Baden-Württemberg innerhalb kürzester Zeit Projekte umsetzen können und dies in sehr enger Abstimmung mit dem Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau. Wir hoffen, mit unseren Aktivitäten einen Beitrag zur Innovationsstrategie des Landes Baden-Württemberg zu leisten und freuen uns auf die Herausforderungen, die hinsichtlich der Projekte vor uns liegen.

Prof. Dr. Rolf-Jürgen Ahlers

Vorsitzender des Forums Luft- und Raumfahrt Baden-Württemberg e.V.

2 KURZFASSUNG

Die Bereitstellung einer leistungsfähigen und gleichzeitig klimafreundlichen Mobilität, insbesondere in Städten, stellt eine der zentralen Herausforderungen dieses Jahrhunderts dar. Elektromobilität, Autonomes Fahren und die gesamtheitliche Vernetzung können zu einer Reduzierung der lokalen Schadstoffbelastung sowie zu einer Verbesserung des Verkehrsflusses auf der Straße beitragen. Die zunehmende Urbanisierung lässt jedoch die aktuellen Verkehrssysteme auf der Straße und Schiene an ihre Kapazitätsgrenzen stoßen. Durch das ausgeprägte Bedürfnis der Gesellschaft nach effizienterer Mobilität und die zunehmende Offenheit für bedarfsabhängig genutzte Sharingsysteme, rücken innovative Mobilitätsalternativen, auch außerhalb der üblichen Konvention, in den Fokus der Betrachtung.

Aufgrund ihrer schier unbegrenzten Möglichkeiten, beschäftigen sich zahlreiche Unternehmen mit der Erschließung der dritten Dimension als Erweiterung für das urbane Verkehrssystem. Die zuvor beschriebenen Technologien und neue Markttrends werden in Form von sogenannten Flugtaxi oder Passagierdrohnen bereits heute prototypisch umgesetzt. Einige dieser Unternehmen verfügen hierfür über substanzielle finanzielle Mittel, beispielsweise aus der Automobilindustrie – nicht zuletzt, weil zahlreiche ihrer Anwendungsfälle durch diese Mobilitätsform abbildbar sind. Dabei steht nicht nur die bloße Bereitstellung von Mobilität im Vordergrund. Es lassen sich auch Geschäftsprozesse durch 3D-Mobilität durchführen und unterstützen, neue Geschäftsfelder erschließen, sowie Aufgaben der öffentlichen Sicherheit und Daseinsvorsorge abbilden.

Für die Akzeptanz und den erfolgreichen Einsatz von 3D-Mobilität im Markt ist es jedoch zunächst erforderlich, kritische Technologien durch eine praxisnahe Erprobung funktional abzusichern. Hierzu zählen insbesondere das batterieelektrische Antriebssystem einschließlich dessen Stromversorgung, der automatisierte Start- und Landevorgang, der je nach Konzept vertikal oder auf einer kurzen Startbahn erfolgt, sowie die Kommunikation mit anderen Flugobjekten und der Infrastruktur. Dabei gilt es, die Prototypen auch unter widrigen Witterungsbedingungen und schlechten Sichtverhältnissen zu testen. Die vorliegende Studie gibt hierfür einen Überblick über ausgewählte Testszenarien.

Im Kern der vorliegenden Arbeit steht die Definition für Anforderungen an ein in Baden-Württemberg zu errichtendes Testfeld, in dem die Flugobjekte hinsichtlich der zuvor beschriebenen Testszenarien erprobt werden können. Hierfür wurden mithilfe der Projektpartner verschiedene Kriterien gesammelt und in die Bereiche Umgebung, Roll- und Vorfeld, Gebäudeinfrastruktur, digitale Infrastruktur, Luftraum und Regulierung sowie Testumgebung strukturiert. Die Anforderungskriterien wurden – wo möglich – durch quantitative Kennzahlen operationalisiert und priorisiert.

Die Ergebnisse dieser Studie legen nahe, dass bei einer solch umfassenden Erweiterung der Infrastruktur wie der 3D-Mobilität eine ausführliche und umfangreiche Vorbereitung erforderlich ist. Mit dieser Studie soll zunächst der Grundstein für den Aufbau eines technologie- und funktionsorientierten Testfelds zur Erprobung des elektrischen und autonomen Fliegens gelegt werden. Sobald jedoch die wesentlichen Flugmanöver beherrschbar sind, beginnt hierauf aufbauend die Erweiterung des Betrachtungsraums um unterschiedliche Anwendungsfälle und Geschäftsmodelle. Dieser Schritt wird vor der endgültigen Markteinführung zwingend notwendig sein, da die Chancen und Risiken eines derart neuartigen Mobilitätssystems bei Weitem nicht ausreichend vorhergesagt werden können. Eine vertiefende Erforschung der anwenderseitigen Anforderungen ist aus diesem Grund ein wichtiger nächster Schritt auf dem Weg zur 3D-Mobilität.

3 PROJEKTVORSTELLUNG

3.1 AUSGANGSSITUATION UND MOTIVATION

Aktuell erfolgt im Mobilitätssektor ein spürbarer Paradigmenwechsel vom persönlichen Individualverkehr hin zu dienstleistungsorientierten, intermodalen Mobilitätslösungen. Die technologischen Treiber für diese Entwicklung wie auch für die Forschungsfragen im Projekt »Testfeld energieeffizientes, elektrisches und autonomes Fliegen in Baden-Württemberg« sowie dieser Vorstudie sind die Elektromobilität, die Automatisierung und die Vernetzung. Anhaltspunkte für den Forschungsgegenstand dieser Studie liefert, neben branchentypischen Trends der Luftfahrtindustrie, besonders die Automobilwirtschaft und -industrie (Lichtblau et al. 2018). Dort wird die oben genannte Thematik zurzeit besonders stark diskutiert und der aktuelle Stand der Technik am besten widergespiegelt (s. Abb. 1).

Elektromobilität	Automatisierung und Vernetzung	New Mobility
▪ Neue Antriebskonzepte für verschiedenste Verkehrsteilnehmer ▪ Nachhaltige Mobilität durch Reduktion der CO₂-Emissionen ▪ Neue Technologie birgt Chancen für regionale Forschung, Beschäftigung und Wirtschaft	▪ Gesteigerter Komfort durch zunehmend autonom agierende Assistenzsysteme ▪ Effizienteres Mobilitätssystem durch intelligente Vernetzung und Kommunikation zwischen Verkehr und Infrastruktur ▪ Erhöhte Verkehrssicherheit durch präzise Steuerung und Überwachung des Mobilitätssystems	▪ Lückenlose Kombination verschiedener Verkehrsträger auf Straßen, Schienen, im Wasser und in der Luft ▪ Service- und nutzerorientierte Mobilitätssysteme, insbesondere im urbanen Raum ▪ Bedürfnis nach effizienter Mobilität

Abb. 1: Technologisch getriebener Wandel im Mobilitätssektor

Unter dem Überbegriff der Elektromobilität sind neue Antriebskonzepte für verschiedenste Verkehrsteilnehmer zusammengefasst, welche es ermöglichen, dass Wegstrecken zumindest teilweise rein elektrisch betrieben zurückgelegt werden. Die wesentlichen Vorteile liegen insbesondere in der gesteigerten Effizienz und der damit verbundenen Reduktion von CO₂-Emissionen. Neben nachhaltiger Mobilität bietet die Elektrifizierung des Antriebstrangs zugleich Chan-

cen auf ökonomischer und sozialer Ebene. Effizienztechnologien bringen neues Potenzial für Forschung, Beschäftigung und Wertschöpfung mit sich, die wichtige Elemente für die nachhaltige Stellung Baden-Württembergs als führender Standort und Markt im Zuge der Elektromobilität darstellen (Bauer et al. 2015).

Zwei weitere Trends im Mobilitätssektor sind die Automatisierung und Vernetzung von Verkehrsträgern, welche oftmals in engem Zusammenhang zueinanderstehen. Beispielsweise können Fahrzeuge durch den technologischen Fortschritt auf dem Gebiet der Fahrerassistenzsysteme immer mehr Fahraufgaben selbst durchführen, sodass der Fahrer schon in mittelfristiger Zukunft womöglich nur mehr Passagier sein wird (VDA 2018a). Eine Verbesserung der Sicherheit und der Flexibilität sowie des Komforts und der Zuverlässigkeit des Mobilitätssystems können die Folge sein (Fraedrich et al. 2017). Als wesentliche Voraussetzung hierfür ist die intelligente Vernetzung der Verkehrsteilnehmer untereinander und mit der Infrastruktur zu nennen, um die Kommunikation des Fahrzeugs mit seiner Umgebung zu gewährleisten. Dies stellt jedoch nur ein Beispiel der Einsatzmöglichkeiten dar. Durch präzise Steuerungs- und Überwachungsfunktionen des Verkehrsflusses können zudem die Leistungsfähigkeit und der Komfort des gesamten Systems, die Fahrzeugsicherheit sowie die Umweltfreundlichkeit gesteigert werden (VDA 2018b).

Intermodale Mobilitätslösungen beziehungsweise integrierte Mobilitätskonzepte bieten eine Kombination der Verkehrsträger auf Straßen, Schienen, Wasser und in der Luft. Sie zeichnen sich insbesondere durch ein neuartiges Nutzungsverhalten in Bezug auf öffentliche und private Fortbewegungsmöglichkeiten, die Diversität der Verkehrsträger und ihre Vernetzung untereinander sowie mit den Nutzern aus. Um intermodale Mobilitätslösungen voranzutreiben, ist eine attraktive und nutzerorientierte Gestaltung unabdingbar. Dies bedeutet in erster Linie die Integration sämtlicher vor Ort vorhandenen Mobilitätsangebote in ein System mit einheitlichem Zugangs- und Abrechnungssystem sowie einer umfassenden Vernetzung für die zuverlässige Informationsversorgung vor Ort. Der Standort Baden-Württemberg ist aufgrund seiner führenden Unternehmen und Forschungseinrichtungen im Mobilitätssektor diesbezüglich gut aufgestellt, intermodale Mobilitätslösungen weiterzuentwickeln und erfolgreich umzusetzen (e-mobil BW o. D.; Spath et al. 2013).

Die neuartige 3D-Mobilität als Erweiterung der bestehenden, primär urbanen Mobilitätssysteme in die vertikale Dimension hat in den vergangenen Monaten zunehmend an Bedeutung gewonnen. Viele Metropolen gelangen allmählich an ihre Belastungsgrenzen, was eine steigende Verkehrsdichte mit langen Staus und einen öffentlichen Nahverkehr, der an seine Kapazitätsgrenzen stößt, zur Folge hat. Ebenso wird die nur langsam voranschreitende Kapazitätsausweitung sowie ein inflexibles und begrenztes Mobilitätsangebot im ländlichen Raum den dortigen Mobilitätsbedürfnissen nicht mehr gerecht (Duwe 2019). Über die Personenbeförderung hinaus

sind weitere Anwendungen des elektrischen Fliegens möglich, zum Beispiel in der Landwirtschaft, für Inspektionen von Anlagen und Infrastruktur sowie zur Wahrnehmung von Sicherheitsaufgaben (Wissenschaftliche Dienste 2014).

Vor diesem Hintergrund und den Nutzerbedürfnissen nach effizienter, individueller, flexibler und auch ökologischer Mobilität entstehen nun neue Mobilitätskonzepte wie zum Beispiel Passagierdrohnen. Neben der Entlastung des bestehenden Verkehrssystems verspricht die 3D-Mobilität große Potenziale hinsichtlich der Generierung neuer Arbeitsplätze und der Steigerung der Wertschöpfung am Standort Baden-Württemberg. Neue Forschungserkenntnisse stärken die regionale Luft- und Raumfahrtindustrie mit ihren 15.000 Beschäftigten und sichern ihre Zukunftsfähigkeit durch Innovationen von ansässigen Akteuren (LR BW 2014).

Durch diese Entwicklungen ergibt sich aktuell ein erhebliches Interesse an der Erforschung und Entwicklung von elektrifizierten, automatisierten und vernetzten Fluggeräten. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse im Zusammenspiel mit der ansässigen Luft- und Raumfahrtindustrie in Baden-Württemberg könnten weitere Hidden-Champions und Technologieführer generieren, welche den Technologiestandort Baden-Württemberg nachhaltig stärken.

3.2 ZIELE DES VORHABENS

Die Studie dient der Vorbereitung des geplanten Projekts »Testfeld für energieeffizientes, elektrisches und autonomes Fliegen in Baden-Württemberg« und verfolgt damit verbunden nachstehende direkte und indirekte Ziele:

- Identifikation und Bewertung möglicher Forschungsstandorte hinsichtlich der Errichtung einer Infrastruktur zu Testzwecken, durch die 3D-Mobilitätslösungen erforscht und entwickelt werden können
- Unterstützung der Entscheidungsfindung bei der Auswahl eines geeigneten, technologieoffenen Testfelds und Forschungsstandorts durch die Erarbeitung von Leistungsindikatoren.
- Befähigung führender Forschungsorganisationen in Baden-Württemberg, theoretische Vorarbeiten durch praktische Studien zu ergänzen
- Sicherung und zukunftsorientierte Entwicklung der Standortattraktivität in Baden-Württemberg im sehr dynamischen Umfeld
- Aufbau und Stärkung der Luft- und Raumfahrtindustrie in Baden-Württemberg durch Identifikation von Innovationspotenzialen im Bereich des elektrischen und automatisierten Fliegens
- Förderung regional ansässiger Unternehmen und Technologieführer sowie Befähigung von kleinen und mittleren Unternehmen zur Partizipation im zukünftigen Markt

3.3 AUFBAU UND VORGEHENSWEISE

Die Inhalte der Vorstudie beruhen auf der Vorgehensweise zur Identifikation und Erschließung eines geeigneten Forschungsstandorts. Dabei sollen auf Basis ausgewählter Anwendungs- und Testszenarien mögliche Standorte für ein Testfeld und damit verbundener Forschungsinfrastruktur identifiziert werden (s. Abb. 2).



Mit den Erkenntnissen dieser Studie soll eine Bewertung aller in Frage kommenden Forschungsstandorte in Baden-Württemberg auf Grundlage vergleichbarer, qualitativer und quantitativer Kriterien ermöglicht werden.

Abb. 2: Vorgehensweise und Argumentationsstrang

4 AUSARBEITUNG EINER BEWERTUNGS-GRUNDLAGE FÜR DIE STANDORT-ANALYSE DES TESTFELDES

4.1 IDENTIFIKATION VON ANWENDUNGS-SZENARIEN FÜR AUTOMATISIERTE UND ELEKTRIFIZIERTE FLUGGERÄTE

Die Einführung von innovativen, elektrischen und automatisierten Flugobjekten als neue Transportmöglichkeit für Personen und Güter in der bislang vergleichsweise gering genutzten dritten Dimension, wird auf vielfältige Weise Nutzen für die Gesellschaft stiften, wovon insbesondere Privatpersonen und Unternehmen profitieren können. Der Nutzen kann sich dabei auf die reine Verbesserung der Mobilitätsversorgung, gerade in bislang unzureichend oder überhaupt nicht abgedeckten Gegenden, beziehen oder konkrete Anwendungsfälle adressieren, bei denen die Mobilität nicht im Vordergrund steht, sondern nur Mittel zum Zweck ist.

Obwohl der Fokus dieser Studie auf der bemannten Personenbeförderung liegt, verschwimmen bei vielen Anwendungsfällen die Grenzen zwischen Personen- und Gütertransport sowie dem Erfordernis nach bemannter und unbemannter Mobilität. Aufgrund der Vielzahl spezifischer Einsatzmöglichkeiten und der Variabilität in der Umsetzung werden in der vorliegenden Studie nur allgemein formulierte Anwendungsfälle mit einer voraussichtlich relativ hohen Nutzung betrachtet. Diese sind in Abb. 3 dargestellt und basieren auf Studien des Fraunhofer IAO (Duwe 2019), Porsche Consulting (Grandl et al. 2018), PricewaterhouseCoopers und Agoria (Culus, Schellekens und Smeets 2018) sowie Frost & Sullivan (Frost & Sullivan 2017):

Mobilität	Mobilitätsunterstützung	Geschäftsprozesse	Geschäftsfelder
Privatbesitz: ▪ Persönliches Flugauto On demand-Lufttaxi: ▪ Urban ▪ Intercity Express ▪ Airport Shuttle ▪ Fährsubstitut ▪ Bergliftsubstitut ▪ Event Shuttle	▪ Straßenzustandsüberwachung ▪ Verkehrsflussanalyse und Verkehrsmanagement ▪ Unfallräumung ▪ Pannenservice ▪ Hafenmanagement (z. B. Schiffsnavigation und -kommunikation)	▪ Dienstlicher Flugpark ▪ Güterzustellung (Letzte Meile oder erweitertes Zustellgebiet) ▪ Bestandsmanagement (z. B. Vorratskontrolle) ▪ Überprüfung von Versicherungsfällen (z. B. bei Betrug)	▪ Anzeige von Werbung ▪ Live-Streaming (z. B. von Veranstaltungen)
Gesundheit	Unterhaltung	Öffentliche Sicherheit	Umwelt
▪ Kritischen Eiltransporte (z. B. Organe, Blut, Impfstoff, Nahrung) ▪ Not-Evakuierung und Bergung ▪ Überwachung der Luftqualität in Städten	▪ Motto-Taxis (z. B. Stadtführung) ▪ Air Racing	▪ Polizei ▪ Militär ▪ Schnelle Eingreiftruppe (z. B. bei Geiselnahme) ▪ Grenzkontrolle ▪ Feuerwehr ▪ Drohnenabwehr	▪ Müllentsorgung ▪ Ausbau von Mobilfunknetzwerken ▪ (Er-) Forschung (z. B. Erkundung schwer zugänglicher Regionen) ▪ Artenschutz ▪ Wettervorhersage
Überwachung	Instandhaltung		
▪ Landwirtschaft (Ertrag, Feuchtigkeit, Krankheiten etc.) ▪ Gefährliche Orte (Minen, Feuer, verstrahlte Orte etc.) ▪ Verbreitungskontrolle (Feuer, Krankheiten etc.)	▪ Inspektion oder Wartung hoher und großflächiger Anlagen (z.B. Solarparks & Windkraftanlagen)		

Abb. 3: Mögliche Anwendungsfälle der 3D-Mobilität

Uneingeschränkte Mobilität stellt das Hauptkriterium für den Einsatz der neuartigen Flugobjekte dar. Hierbei kann grundsätzlich zwischen individuell besitzbaren Fluggeräten und Drohnen in Analogie zu klassischen Automobilen auf der einen Seite sowie der temporären Inanspruchnahme einer geteilten Mobilitätsdienstleistung in Analogie zu Carsharing auf der anderen Seite unterschieden werden. Während individuell besessene Flugobjekte sowie der Einsatz von Flugobjekten als urbane Flugtaxis zumindest in der Theorie die höchsten Freiheitsgrade hinsichtlich des Start- und Zielpunktes einer Reise bieten, sind darüber hinaus zahlreiche Dienstleistungen, insbesondere für Reisen mit mindestens einem Fixpunkt, denkbar (beispielsweise der Transfer zwischen zwei Städten, zum Flughafen oder auch die Überquerung von Gewässern). Aufgrund der geringen lokalen Infrastrukturanforderungen im Vergleich zu anderen Transportmitteln muss es sich dabei nicht zwingend um ein dauerhaftes Angebot handeln. Ebenso gut kann es sich auch nur um eine temporäre Dienstleistung handeln, beispielsweise für eine größere Veranstaltung.

3D-Mobilität kann darüber hinaus zur Überwachung und Verbesserung des Verkehrssystems eingesetzt werden. So lassen sich der materielle Zustand und die Auslastung von Straßen in Echtzeit ermitteln und entsprechende Maßnahmen wie ein Pannenservice zur Verbesserung der Situation einleiten. Ebenso vereinfacht der Einsatz entsprechender Flugobjekte die Koordination der Ein- und Ausfahrt von Schiffen in Häfen, enge Passagen oder Schiffskanäle.

Durch die innovativen Flugobjekte verändern sich auch innerbetriebliche Geschäftsprozesse. Sie können einerseits als dienstlicher Fuhrpark eingesetzt werden, was insbesondere für große Unternehmen und Hochschulen mit mehreren, verteilten Standorten beziehungsweise Campus interessant ist. Andererseits bietet sich ihr Einsatz für Kurier-, Express- und Paketdienste zur Vergrößerung des Zustellungsgebiets oder zur Erhöhung der Zustellgeschwindigkeit bei der Feinverteilung der Güter an. Darüber hinaus können die Flugobjekte für das Bestandsmanagement beispielsweise im Baugewerbe genutzt werden, wo sich eine genaue Abschätzung von Schüttgut stets schwierig darstellt. Ebenso ist eine Anwendung in Versicherungsunternehmen denkbar, die schwer zugängliche Schadensfälle (beispielsweise auf Dächern) leichter überprüfen können.

Mit den betrachteten Flugobjekten lassen sich außerdem neue Geschäftsfelder erschließen. Sie können beispielsweise zur Anzeige von Werbung oder zur Live-Übertragung von Events aus dem Musik- und Sportbereich eingesetzt werden.

Ein mögliches Anwendungsfeld der Flugobjekte im Bereich der Gesundheit wäre für den zeitkritischen Transport von Gütern wie Blut, Organen, Impfstoffen und Nahrung oder auch wichtigen Hilfskräften wie Ärzten denkbar, gerade im Fall von humanitären Krisen. Not-Evakuierungen auf Bergen oder bei Hochwasser ließen sich ebenso abbilden. Außerdem können die

Flugobjekte zur Echtzeitmessung der Luftqualität eingesetzt werden, was aufgrund des gestiegenen Gesundheitsbewusstseins insbesondere im urbanen Raum zunehmend an Bedeutung gewinnt.

Ferner gibt es Verwendungschancen solcher Flugobjekte zur einfachen Unterhaltung. Hierzu zählen dedizierte Motto-Taxis, beispielsweise für ein neues und schnelleres Erlebnis im Rahmen von Stadtbesichtigungen. Ebenso ist analog zu Formel- oder Tourenrennen eine neue Rennserie als Luftsportveranstaltung denkbar.

Darüber ist der Einsatz der Flugobjekte prädestiniert für die Gewährleistung der öffentlichen Sicherheit, indem sie gezielt als Transportmittel für Rettungskräfte, Polizei, Militär, Spezialeinheiten oder Sicherheitsdienste genutzt werden. Dies gilt insbesondere für dringliche Einsätze, beispielsweise zur Feuerbekämpfung, bei Geiselnahmen, zur Grenzkontrolle oder zur Drohnenabwehr.

Aufgaben im Bereich des Umweltschutzes und der Daseinsvorsorge können ebenfalls durch die betrachteten Flugobjekte unterstützt werden. Hierzu zählen unter anderem Müllentsorgung, die Erkundung von unbekannten oder schwer zugänglichen Orten wie Wüsten, der Artenschutz, die Wettervorhersage oder auch der nichtinvasive Kapazitätsausbau von Mobilfunknetzwerken.

Überwachung stellt ein weiteres, wichtiges Anwendungsgebiet von Flugobjekten dar. In der Landwirtschaft lassen sich auf diese Weise beispielsweise die Feuchtigkeit und der Krankheitsbefall der Pflanzen messen und somit der Ertrag prognostizieren und gezielte Maßnahmen einleiten. Ebenso ist der Einsatz in für Menschen gefährlichen Orten wie Minen, in lebensfeindlichen Umgebungen wie bei Feuer oder in verstrahlten Gegenden denkbar. Außerdem ist eine Fortschrittsüberwachung bei Bauprojekten aus der Luft möglich.

Zuletzt eignen sich die betrachteten Flugobjekte für die Zustandsüberwachung und Instandhaltung von hohen oder großflächigen Einrichtungen wie Solarparks oder Windkraftanlagen.

4.2 BESCHREIBUNG VON TESTSZENARIEN FÜR AUTOMATISIERTE UND ELEKTRIFIZIERTE FLUGGERÄTE

Die im vorausgegangenen Unterkapitel genannten Anwendungsszenarien geben einen Ausblick auf die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten von elektrischen und autonomen Flugobjekten. Einige Beispiele verdeutlichen, dass sich die Anforderungen und Abläufe teilweise stark von der heutigen Passagierluftfahrt mit dedizierten und nicht selten räumlich isolierten Flughäfen beziehungsweise Infrastrukturen unterscheiden. Daher erfordern die neuen Flugobjekte selbst, insbesondere aber auch deren Bewegung im Luftraum und deren angestrebte Integration in das urbane Verkehrssystem, eine umfängliche technische Funktionsabsicherung und Erprobung im Voraus. Hierzu sind verschiedene Testszenarien für die neue 3D-Mobilität zu definieren, welche wiederum verschiedene Bereiche umfassen.

Ladeprozess

Aufgrund des elektrischen Antriebssystems ist die Energieversorgung eines Flugobjektes im Allgemeinen und speziell auch der Betrieb mehrerer Flugobjekte gleichzeitig zu erproben. Zur Sicherstellung einer hohen Verfügbarkeit sind die entsprechenden Ladesysteme und das zugrundeliegende, intelligente Lastmanagement ein ausschlaggebender Faktor für die Gesamtfunktionalität des Mobilitätssystems.

Zu- und Abgang

Unter der Annahme, dass es für die neue 3D-Mobilität keine separaten und isolierten Flugterminals mehr geben wird, sondern eine direkte Anbindung an das ÖPNV-Netz stattfinden soll, sind zudem neue Standorte für Mobilitätshubs zu identifizieren. Abläufe für den Ein- und Ausstieg der Passagiere müssen geplant und hinsichtlich ihrer Effizienz sowie Nutzerfreundlichkeit validiert werden.

Starten und Landen

Vor dem Hintergrund des Einsatzes dieser Fluggeräte in zum Teil dicht besiedelten Gebieten, müssen darüber hinaus die dazu notwendigen Start- und Landemanöver getestet werden. Hierfür kommen primär senkrechte (VTOL) und besonders kurze (STOL) Start- und Landemanöver in Frage. Neben der Erprobung ihrer rein physikalischen Möglichkeit soll zudem die Automatisierung der Abläufe erreicht werden. Ein anderer Untersuchungsgegenstand könnte daher die Eignung der verschiedenen Konzepte für unterschiedliche Bebauungsstrukturen sein.

Witterung

Weitere wichtige Testszenarien betreffen die Erprobungen bei unterschiedlichen Witterungsverhältnissen, wie zum Beispiel bei Schneefall, Starkregen oder starken Winden. Insbesondere spezielle Effekte wie Aufwinde zwischen hohen Gebäuden sind von besonderer Bedeutung für einen möglichen Einsatz im urbanen Raum.

Kommunikation

Mit stetigem technischen Fortschritt der Fluggeräte wird in Zukunft außerdem eine umfangreiche Kommunikationstechnik notwendig sein, um Flüge ohne direkten Sichtkontakt (engl. beyond visual line of sight, kurz BVLOS) oder bei Nacht durchführen zu können. In einem nächsten Schritt folgt die Erprobung einer umfassenderen Vernetzung der Fluggeräte untereinander sowie mit der Infrastruktur. Neben der reinen Funktionsfähigkeit zählt hierzu ebenso die Absicherung gegen externe, absichtliche wie unabsichtliche Störungen der Systeme.

4.3 ABLEITUNG VON ANFORDERUNGEN AN ZUKÜNFTIGE FLUGFELDER

Im Gegensatz zu anderen Fortbewegungsmöglichkeiten stellen Mobilitätslösungen in der Luft grundsätzlich andere Anforderungen an die benötigte Infrastruktur als beispielsweise der bestehende Straßen- oder Schienenverkehr. Ein wesentlicher Fokus liegt auf geeigneten Start- und Landeplätzen für das Ein- und Aussteigen der Passagiere, insbesondere im urbanen Raum. Idealerweise liegen diese Zonen nahe an weiteren Transportknotenpunkten der Stadt, um den einfachen Umstieg auf andere Verkehrsträger zu ermöglichen. Je nach Antriebstechnologie der Flugobjekte können die Anforderungen in Bezug auf die Dimensionierung und Gestaltung der Start- und Landefläche allerdings sehr unterschiedlich sein. Dies sollte auch zukünftig im Rahmen von Neubaumaßnahmen und Veränderungen der Infrastruktur berücksichtigt werden.

Es wird deutlich, dass die Möglichkeit zur vollumfänglichen Erprobung von elektrischen und autonomen Fluggeräten für den Einsatz als neue Verkehrsträger im bestehenden Mobilitätssystem eine Vielzahl unterschiedlicher Anforderungen an das Testfeld stellen wird. Die nachfolgende Abb. 4 zeigt eine Übersicht möglicher Anforderungsbereiche, die dabei unterschieden werden können:



Abb. 4: Anforderungsbereiche an das zukünftige Testfeld

Anforderungsbereich: Umgebung

In Bezug auf die nähere Umgebung des zukünftigen Testfelds, werden unter diesem Anforderungsbereich insbesondere die Kriterien für den problemlosen An- und Abflug zu den Start- und Landeplätzen zusammengefasst. Es muss sichergestellt werden, dass detaillierte Informationen über das umliegende Terrain vorhanden sind und keine Kollisionsgefahr mit mobilen oder immobilen Hindernissen, beispielsweise Gebäuden oder anderen Flugobjekten, besteht. Ebenso wichtig ist jedoch auch die räumliche Nähe zu den zukünftigen Nutzern des Testfelds, um einen praktikablen Testbetrieb zu ermöglichen.

Anforderungsbereich: Rollfeld/Vorfeld

Wie bereits erwähnt stellt das Rollfeld und Vorfeld den vermutlich größten Anforderungsbereich dar, da an dieser Schnittstelle die Integration der 3D-Mobilität in das herkömmliche Verkehrssystem stattfindet. Im Besonderen ist an dieser Stelle die Eignung der Start- und Landefläche mit entsprechender Dimensionierung und Belastbarkeit für den Einsatz unterschiedlicher Flugobjekte zu prüfen. Darüber hinaus muss geklärt werden, welche anderen, testenden und nicht-testenden Parteien die Nutzung der Bodeninfrastruktur einschränken.

Anforderungsbereich: Gebäudeinfrastruktur

Als zukünftiger Forschungsstandort muss das Testfeld nicht nur ideale Bedingungen für den Flugbetrieb vorweisen, sondern ebenso die notwendige Infrastruktur für Arbeiten an den Flugobjekten bereitstellen. Neben der reinen Fläche für Fluggeräte, dem Stromanschluss, Akkumulatoren, Gerätschaften und ähnliches, zählen hierzu auch ausreichend Arbeitsplätze und Räumlichkeiten für die testenden Mitarbeiter.

Anforderungsbereich: Digitale Infrastruktur

Neben der rein funktionalen Erprobung der Fluggeräte selbst ist die Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmern und der Infrastruktur ein weiteres, identifiziertes Testszenario. Vor diesem Hintergrund ist auf der einen Seite sicherzustellen, dass es keine Beeinträchtigung der zu testenden Technologien durch andere Kommunikationsverbindungen in der Umgebung gibt. Auf der anderen Seite sollte eine ausreichende Abdeckung gängiger Kommunikationstechnologien vorherrschen, auf welche während der Test zurückgegriffen werden kann.

Anforderungsbereich: Luftraum und Regulierung

Ein wesentlicher Aspekt bei der Erprobung neuartiger, elektrischer und insbesondere autonomer Fluggeräte ist eine entsprechende Regulierung des Luftraums im Testgebiet und natürlich die Betriebserlaubnis der Prototypen selbst. Speziell bei bisher nicht ausreichend regulierten Flugobjekten, wie beispielsweise Passagierdrohnen oder unbemannten Flugsystemen über 25kg, ist die Möglichkeit und der Aufwand zur Einholung von Genehmigungen für Testflüge ein ausschlaggebender Punkt.

Anforderungsbereich: Testumgebung

Als letzter Anforderungsbereich wurde die Testumgebung an sich identifiziert. Mit prototypischen Flugobjekten kann aus Sicherheitsgründen noch nicht in einer realen urbanen Umgebung getestet werden, sodass für die notwendigen Flug- und insbesondere Landungsversuche mit einer künstlichen Stadtstruktur Abhilfe geschaffen werden muss. Darüber hinaus sollten sich an dem Standort bereits unterschiedliche Witterungsbedingungen erproben lassen, damit keine oder möglichst wenige, aufwendige Feldversuche in weit entfernten Klimazonen unternommen werden müssen.

4.4 LEISTUNGSINDIKATOREN ZUR EVALUATION MÖGLICHER FLUGFELDER

Im Anschluss an die Identifikation der unterschiedlichen Anforderungsbereiche an zukünftige Test- und Flugfelder für energieeffizientes, elektrisches und autonomes Fliegen wurde zusammen mit den Projektpartnern ein Lastenheft mit konkreten technischen Rahmenbedingungen zur Evaluation der infrage kommenden Standorte ausgearbeitet. Die darin enthaltene Konkretisierung richtet sich im Speziellen auf die technischen und logistischen Anforderungen, welche für einen praktikablen Testbetrieb und zur Durchführung eines sicheren Flugbetriebs mit entsprechenden Flugzeugen und unbemannten Luftfahrtsystemen notwendig sind.

Zur Bewertung der einzelnen Anforderungen dienten qualitative wie quantitative Kriterien, welche einen direkten Vergleich mehrerer Standorte ermöglichen. Zudem wurden die Anforderungen nach der MoSCoW-Methode priorisiert (s. Abb. 5).

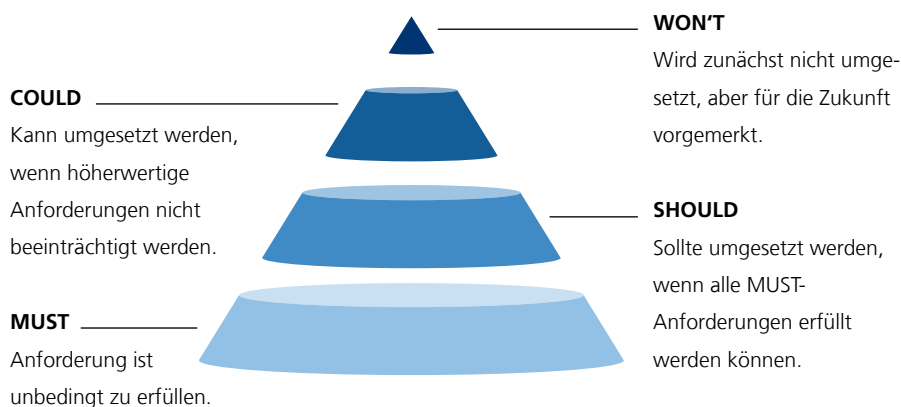


Abb. 5: Vorgehensweise bei der MoSCoW-Priorisierung

Ergänzend zu der dreistufigen Gewichtung aller bestenfalls zu erfüllenden Rahmenbedingungen aus dem Lastenheft wurden zwei Standortfaktoren als absolut bedeutsam identifiziert und für die nachfolgende Standortanalyse als übergeordnetes Kriterium eingestuft:

1. Pistenlänge

Als wesentliches Ausschlusskriterium wurde die Länge der Start- und Landebahn an den jeweiligen Standorten festgelegt, um die Erprobung und den Betrieb aller geplanten Arten an Flugobjekten, auch solcher ohne die Fähigkeit zum senkrechten Starten und Landen, gewährleisten zu können. Auf Grundlage eines Referenzflugzeugs der Universität Stuttgart wurde hierzu eine Piste mit mindestens 1000 Meter Länge festgelegt.

2. Erreichbarkeit des Testfelds

Zur Gewährleistung einer regelmäßigen und häufigen Erprobung muss sichergestellt werden, dass der Forschungsstandort für die Mehrheit der beteiligten Akteure in gut erreichbarer Nähe liegt. Dadurch soll eine flexible, umfassende und kostengünstige Nutzung des Testfelds ermöglicht werden. Als Maßstab wurde hierzu die Anreise aus den Großräumen Stuttgart und Karlsruhe, als Gebiete mit einer hohen Dichte an Forschungseinrichtungen und Unternehmen aus der Luft- und Raumfahrtindustrie, herangezogen. Zudem wird die räumliche Nähe zum Karlsruher „Testfeld Autonomes Fahren BW“ als strategisch interessant angesehen, um in Zukunft gegebenenfalls Synergien schaffen zu können.

Alle weiteren Rahmenbedingungen aus dem Lastenheft sind den zuvor festgelegten Anforderungsbereichen wie folgt zugeordnet:

Umgebung	
must	▪ Genaue Terrain- und Hindernisinformationen im Fluggebiet ▪ Keine Hindernisse bei An-/Abflug, Kollisionsfreiheit ▪ Betrachtung gefährdeter Bezirke (beispielsweise Industrieanlagen) ▪ Abklärung des Konfliktpotenzials bzgl. Umweltschutz
should	▪ Umgebung des Flugplatzes nicht öffentlich zugänglich

Abb. 6: Ideale Rahmenbedingungen des zukünftigen Testfelds



Rollfeld/Vorfeld

must

- Start-/Landeplatz (VTOL) mit mindestens 15 m x 15 m
- Unabhängig vom sonstigen Flugbetrieb nutzbar
- Vier Bodenankerpunkte für Bodentests
- Bodenbeschaffenheit: ebener, trockener Untergrund
- Kein öffentlicher Zutritt
- Frei von Fremdkörpern und Verschmutzung
- Belastbarkeit der Start- und Landebahn für geplante Flugzeugklassen

should

- Nicht einsehbar
- Erhöhte Startpads/Abflugflächen
- Befestigte Fläche von 50 m x 100 m für Bodeninfrastruktur-Tests
- Pistenbreite von mindestens 30 m
- Hindernisfreiheit neben der Piste



Gebäude-Infrastruktur

must

- Nahegelegene, abschließbare, überdachte und klimatisierte Stellfläche
- Ausreichende Stromversorgung (inkl. Starkstrom)
- Werkstatt für kleine Reparatur- und Montagearbeiten
- Lagerfläche für Akkusysteme oder Aufstellmöglichkeit von Containern
- Geklärte Verhältnisse bei Mehrfachnutzung des Unterbringungsorts
- Möglichkeit zur Installation eines mobilen Towers
- Büroräumlichkeiten zur Flugvorbereitung und für Besprechungen

could

- Flexibler Hangar als Kontrollzentrum beziehungsweise Aufstellmöglichkeit eines Containers
- Garage für Anhänger zum Transport von Material und Fluggeräten



Digitale Infrastruktur

must	▪ Geringe Funkemission im Umfeld, keine Beeinträchtigung der eigenen Funkverbindung
should	▪ Flächendeckende Kommunikationsverbindung im Fluggebiet (beispielsweise LTE, 5G, WLAN etc.) ▪ Überwachungssysteme im Fluggebiet (ADS.B Empfänger, FLARM-Bodenstation, MLAT etc.) ▪ Ausreichend Bandbreite für weitere Datenübertragung mittels Mobilfunkmodem für Electronic Conspicuity (beispielsweise für ATM/UTM) ▪ GNSS-unabhängige Navigationshilfen beziehungsweise eingemessene Infrastruktur zur Bestimmung einer Referenzposition



Luftraum & Regulierung

must	▪ Keine Flugbeschränkungsgebiete im Umkreis von 10 km um das Testfeld ▪ Möglichkeit zur Durchführung von Flugversuchen auch nach technischen Änderungen und bei einem Gerätewechsel ▪ Möglichkeit zur Durchführung von BVLOS-Flügen ▪ Teststreckenlänge 5 – 8 km mit längs orientierter Sichtlinie
should	▪ Flug- und Luftraumbereich nicht öffentlich zugänglich ▪ Günstige Luftraumstruktur, idealerweise zeitlich aktivierbare Lufträume ▪ Aufstiegsmöglichkeit auf bis zu 2.500 m
could	▪ Genehmigung zur Durchführung von Flügen bei Nacht



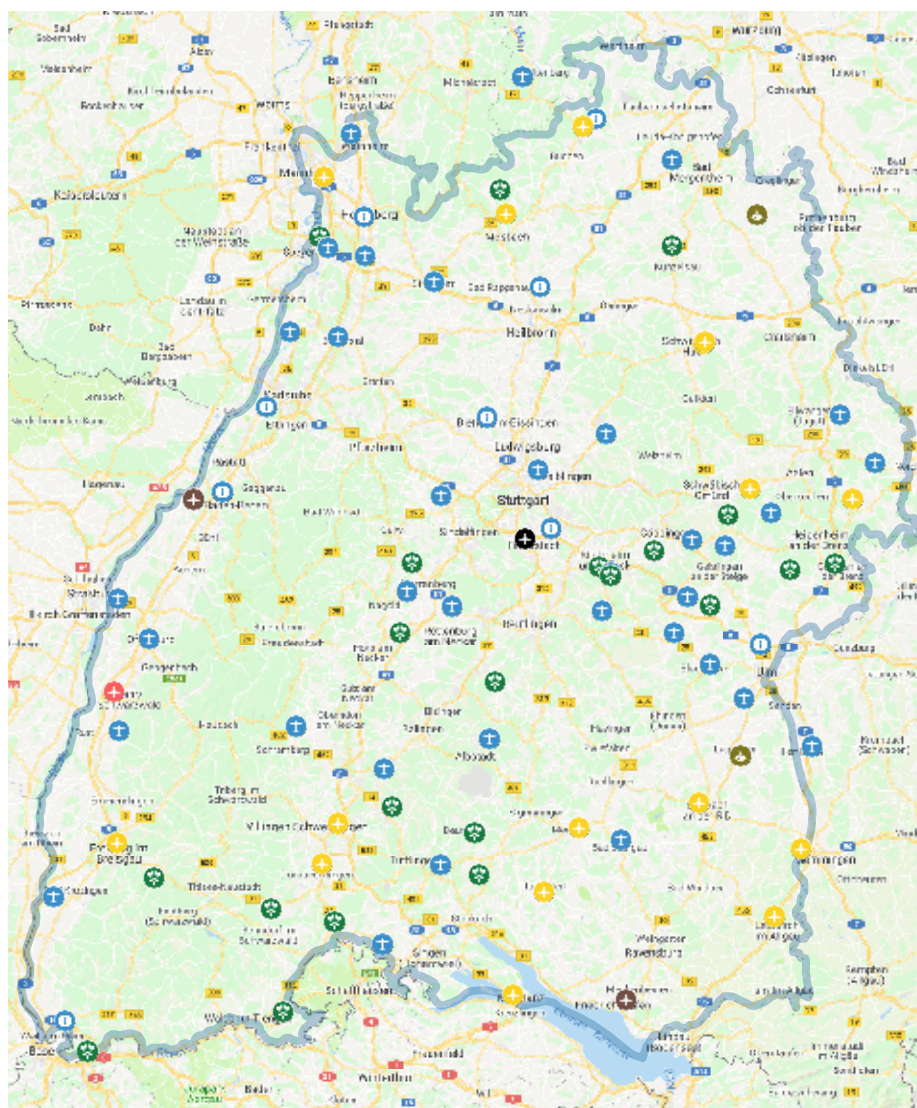
Testumgebung	
should	▪ Künstliche Gebäude ▪ Möglichkeit zur Ausbringung typischer Hindernisse vor Ort (beispielsweise Ballons, Drohnen etc.)
could	▪ EMV Testmöglichkeiten ▪ Wind- und Sprühanlagen für Umwelttests ▪ „Urban landscape“, zum Beispiel skalierte Gebäudestrukturen entlang der Flugstrecke (Notlandefähigkeit, Vision-based-navigation)

Die in Abb. 6 aufgeführten Anforderungen an den zukünftigen Forschungsstandort wurden anschließend in einen Fragebogen überführt, welcher in der nachfolgenden Standortanalyse an die in Frage kommenden Flugplätze in Baden-Württemberg verteilt wurde.

5 STANDORTANALYSE UND -EVALUATION

Im Rahmen der Standortanalyse wurden zunächst alle infrage kommenden Flugplätze in Baden-Württemberg identifiziert. Anschließend erfolgte die einzelne Bewertung der Standorte entsprechend der zuvor vorgestellten Kriterien und mithilfe eines standardisierten Fragebogens an die Flugplatzbetreiber. Auf dieser Grundlage konnten einige wenige Flugplätze in die engere Auswahl genommen und einer eingehenden Betrachtung unterzogen werden.

Abb. 7: Übersicht der identifizierten Flughäfen und Landeplätze in Baden-Württemberg [Kartendaten © 2019 GeoBasis-DE/BKG (©2009), Google]



-  Sonderlandeplatz
-  Segelflughafen
-  Verkehrslandeplatz
-  Stillgelegt
-  Militärflugplatz
-  Regionalflygplatz
-  Internationaler Flughafen
-  Sonderflughafen

Im Zuge Analyse fiel zunächst die Entscheidung zur ausschließlichen Betrachtung von bestehenden Flugplätzen als mögliche Testfeldumgebungen, da an diesen Stellen in der Regel an eine bereits existierende Luftraumregelung angeknüpft werden kann. Insgesamt wurden 36 Sonderlandeplätze, 21 Segelflughäfen, 16 Verkehrslandeplätze, neun stillgelegte Flughäfen, zwei Regionalflughäfen, zwei Militärflugplätze, ein Sonderflughafen und ein internationaler Flughafen identifiziert, sodass letztlich eine Auswahl von insgesamt 88 Flugplätzen zu genaueren Betrachtung zur Verfügung stand (s. Abb. 7).

Nach umfassender Prüfung wurden 82 der 88 identifizierten Flugplätze als theoretisch nutzbar eingestuft. Die restlichen Standorte wurden aufgrund fortgeschrittener Abtragung, Renaturierung oder militärischer Nutzung als mögliche Standorte des Testfelds ausgeschlossen.

Die Durchführung der Standortevaluation erfolgte auf der Grundlage einer mehrstufigen Bewertung, welche die jeweilige Anfahrtszeit der Standorte zu den Großräumen Stuttgart und Karlsruhe, die Erfüllung der technischen Rahmendaten aus dem Lastenheft sowie das Vorhandensein einer ausreichenden Start- und Landebahnlänge berücksichtigte.

Kriterium 1: Pistenlänge

Bemannte Leichtflugzeuge, Ultraleichtflugzeuge und Motorsegler können prinzipiell auf asphaltierten und begrünten Pisten starten und landen. Dabei ist die Länge des Start- und Landefelds entscheidend.

Als Referenz für die notwendige Pistenlänge des Testfelds diene in diesem Fall ein Flugzeug des Instituts für Flugzeugbau der Universität Stuttgart, welches unter Standardatmosphärenbedingungen bei maximaler Abflugmasse eine Startstrecke von 450 m benötigt. Um einen notwendigen Sicherheitsfaktor zu berücksichtigen, geht man von maximal 60 % Nutzung der vorhandenen Pistenlänge aus, sodass rein rechnerisch eine Länge von 750 m notwendig sind. Zur Gewährleistung eines sicheren Betriebs auch an den Betriebsgrenzen und der Eignung des Testfelds für größere beziehungsweise schwerere Fluggeräte wurden 1000 m Pistenlänge als maßgebliches Ausschlusskriterium für einen Standort als zukünftiges Testfeld festgelegt.

Kriterium 2: Anfahrtszeit

Die Praktikabilität des Testfelds im Sinne einer regelmäßigen, umfassenden und flexiblen Nutzbarkeit wurde ebenfalls als entscheidende Anforderung an das Testfeld identifiziert. Zu diesem Zweck berechnet sich der Index T als Maß für die Anfahrtszeit zu den einzelnen Standorten wie folgt:

$$T = \sqrt{\frac{t_{KA}^2 + t_S^2}{2}} \times 100$$

normierte Anfahrtszeiten: t_{KA} , t_S (1,0 entspricht jeweiligem Zeitlimit)

Wie die nachfolgende Abb. 8 veranschaulicht, wird die jeweilige Anfahrsdauer mit dem Pkw in einen Zeitwert t überführt, der beim Erreichen des im Lastenheft festgelegten Zeitlimits (1 h Fahrtzeit aus Stuttgart / 2 h Fahrtzeit aus Karlsruhe) jeweils den Wert 1,0 annimmt. Anschließend ergibt das mit einhundert multiplizierte quadratische Mittel der beiden Zeitwerte den Index T.

Flughafen	Anfahrt Karlsruhe	t_{KA}	Anfahrt Stuttgart	t_S	T
Flugplatz A	01:30	0,75	00:15	0,25	56
Flugplatz B	02:00	1,00	01:00	1,00	100
Flugplatz C	00:45	0,375	01:30	1,50	109

Abb. 8: Beispiel für die Berechnung des Index T entsprechend den Anfahrtszeiten

Kriterium 3: Standortfaktoren

Zum Abgleich der technischen Rahmenbedingungen aus dem Lastenheft mit den einzelnen Standorten wurde auf die eingereichten Fragebögen der Flugplatzbetreiber zurückgegriffen. Zunächst erhielten die verschiedenen Fragen entsprechend ihrer Priorisierung mithilfe der MoS-CoW-Methode eine Gewichtung zwischen 1 und 3. Danach erfolgte der Abgleich mit den Fragebögen und eine entsprechende Punktevergabe bei Erfüllung des jeweiligen Kriteriums. Falls eine Anforderung nicht erfüllt wurde, wurden dem Standort für die Frage null Punkte zugewiesen. Wie in Abb. 9 beispielhaft dargestellt, errechnet sich auf diese Weise für jeden möglichen Standort der Anteil an der maximal möglichen Wertung von 100 Punkten. Diese Anteile spiegeln somit den Erfüllungsgrad der technischen Rahmenbedingungen wieder und sind direkt miteinander vergleichbar.

	Flugplatz A		Flugplatz B		Flugplatz C	
Frage 1 (2 P)	Ja	0 P	Nein	2 P	Ja	0 P
Frage 2 (3 P)	Nein	0 P	Nein	0 P	Ja	3 P
Frage 3 (3 P)	600.000 kg	3 P	20.000 kg	3 P	5.700 kg	3 P
Frage 4 (1 P)	Ja	1 P	Nein	0 P	Ja	1 P
...	...		...		...	
Frage n (2 P)	45 m	2 P	30 m	2 P	22 m	0 P
Σ 100 Punkte	82 %	43 %	56 %			

Abb. 9: Beispiel für die Auswertung der Fragebögen

6 HANDLUNGSEMPFEHLUNG

Aus dem vorangegangenen Kapitel 5 leitet sich die grundsätzliche Handlungsempfehlung ab, die Standortentscheidung für ein Testfeld für energieeffizientes, elektrisches und autonomes Fliegen auf die engere Auswahl an Standorten zu beschränken. Die jeweiligen Vor- und Nachteile der Flugplätze lassen sich an dieser Stelle nur schwer gegenüberstellen und sollten in erster Linie von den zukünftigen Nutzern des Testfelds abgewogen werden.

Ungeachtet der vorgestellten Bewertung der Standorte ist es für die langfristige Nutzung des Forschungsstandorts anzuraten, weitere nicht-technische und vornehmlich nutzungsbedingte Standortfaktoren zu berücksichtigen:

Integration in das Mobilitätssystem

Mit Blick auf den Übergang der Erprobungsszenarien von einer rein technisch-funktionalen Absicherung hin zur Validierung der identifizierten Anwendungsmöglichkeiten (s. Abschnitt 3.1), wird die Einbindung des Testfelds in das umliegende Mobilitätssystem zunehmend wichtiger. Hierzu zählt vor allem eine gute Anbindung an weitere Verkehrsträger auf der Straße oder Schiene. Die Entfernung zu den nächsten Autobahn- und Schienenanschlüssen könnte somit ebenfalls bei der Standortwahl berücksichtigt werden. Praktisch wäre auch eine kurze Distanz in den nächsten Ortskern, um Erprobungen intermodaler Mobilitätskonzepte und die Integration von 3D-Mobilität in das ÖPNV-System zu erleichtern. Grundsätzlich sollte bei der Standortwahl bedacht werden, dass das Testfeld idealerweise auch zur Betrachtung der Wirtschaftlichkeit einzelner Anwendungsfälle geeignet ist, sodass die Infrastruktur nach der technisch-funktionalen Erprobung nicht ungenutzt zurückbleibt. Vor diesem Hintergrund ist ein möglichst realistischer Anwendungsfall darzustellen, um die Übertragbarkeit der Erkenntnisse in die Praxis zu gewährleisten.

Praktikabilität und Testfeldbetrieb

Ein weiterer, bereits im Rahmen der Entfernung zu den Großräumen Stuttgart und Karlsruhe angesprochener Punkt ist die Praktikabilität des zukünftigen Testfelds im Sinne einer nutzerfreundlichen Ausgestaltung. Vor diesem Hintergrund könnte ebenfalls die räumliche Nähe zu thematisch passenden Forschungseinrichtungen berücksichtigt werden, um möglichst vielen Parteien einen einfachen Zugang zum Forschungsstandort zu ermöglichen. Dies ist zwar teilweise im Kriterium »Erreichbarkeit des Testfelds« inbegriffen, allerdings nicht explizit berücksichtigt. Darüber hinaus ist es sinnvoll einen Flugplatz zu wählen, bei dem möglichst viele Testszenarien durchgeführt werden dürfen, was wiederum stark von der Regulierung durch die zuständigen Behörden abhängig ist.

7 LITERATURVERZEICHNIS

Bauer, Wilhelm, Florian Rothfuss, Jennifer Dungs, Florian Herrmann, Andrej Cacilo, Sarah Schmidt, Marius Brand, Florian Klausmann, und Daniel Borrmann. 2015. Strukturstudie BWe Mobil 2015. Elektromobilität in Baden-Württemberg. Stuttgart.

Culus, Joline, Yves Schellekens und Yannick Smeets. 2018. A drone's eye view: Overview of the Belgian UAV ecosystem & the development of commercial drone applications in Belgium.

Duwe, Daniel. 2019 (in Vorbereitung). Quo vadis 3D-Mobilität. Stuttgart.

e-mobil BW. o. D. Intermodalität. <https://www.e-mobilbw.de/de/innovative-mobilitaet/intermodalitaet.html>. Zugriffen: 26. Februar 2019.

Fraedrich, Eva, Lars Kröger, Francisco Bahamonde-Birke, Ina Frenzel, Gernot Liedtke, Stefan Trommer, Barbara Lenz, und Dirk Heinrichs. 2017. Automatisiertes Fahren im Personen- und Güterverkehr. Auswirkungen auf dem Modal-Split, das Verkehrssystem und die Siedlungsstrukturen.

Frost & Sullivan. 2017. Future of Flying Cars, 2017–2035.

Grandl, Georg, Martin Ostgathe, Jan Cachay, Stefan Doppler, John Salib, Han Ross, Jan Detert und Robert Kallenberg. 2018. The Future of Vertical Mobility: Sizing the market for passenger, inspection, and goods services until 2035. A Porsche Consulting study.

Lichtblau, Karl, Manuel Fritsch, Edgar Schmitz, Florian Herrmann, Carolina Sachs, und Sonja Stöffler. 2018. Veränderungen der bayrischen Automobilindustrie durch automobile Megatrends. München.

LR BW. 2014. Luft- und Raumfahrt - Dieser Standort überzeugt. Standortbroschüre BW. https://www.lrbw.de/app/uploads/2016/09/2014_LRBW_Standortbroschuere_BW.pdf. Zugriffen: 26. Februar 2019.

Spath, Dieter, Andreas Rößler, Hannes Rose, Florian Rothfuss, Dionysios Satikidis, und Gabriele Scheffler. 2013. Systemanalyse BWe Mobil 2013. IKT- und Energieinfrastruktur für innovative Mobilitätslösungen in Baden-Württemberg.

VDA. 2018a. Automatisiertes Fahren. <https://www.vda.de/de/themen/innovation-und-technik/automatisiertes-fahren/automatisiertes-fahren.html>. Zugriffen: 17. Dezember 2018.

VDA. 2018b. Vernetzte Mobilität. <https://www.vda.de/de/themen/innovation-und-technik/vernetzung/vernetzte-mobilitaet.html>. Zugriffen: 17. Dezember 2018.

Wissenschaftliche Dienste. 2014. Unbemannte Drohnen und Beobachtungssatelliten. Unterschiede und Gemeinsamkeiten der technologischen Leistungsprofile in der zivilen und militärischen Anwendung.

Impressum

Kontaktadresse:

*Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und
Organisation IAO, Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart
www.iao.fraunhofer.de*

Maximilian Jakob Werner

Telefon +49 711 970-2307

maximilian-jakob.werner@iao.fraunhofer.de

Layout: Valentin Buhl

Titelbild:

© Alexandra Iakovleva, Chesky_W – iStock / Fraunhofer IAO

© Fraunhofer IAO, 2019

Alle Rechte vorbehalten

Dieses Werk ist einschließlich all seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen. Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürfen. Soweit in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z.B. DIN, VDI) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden ist, kann das Institut keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen.