

Identifikation und Untersuchung von Kenngrößen zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit eines Informationsmanagementsystems für den unbemannten Luftverkehr

Identification and Investigation of Performance Indicators for Unmanned Traffic Information Management System

Master-Thesis von Jan Pertz aus Frechen

Tag der Einreichung:

1. Gutachten: Prof. Dr.-Ing. Uwe Klingauf
2. Gutachten: Michael Büddefeld und Hugo Eduardo



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Identifikation und Untersuchung von Kenngrößen zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit
eines Informationsmanagementsystems für den unbemannten Luftverkehr
Identification and Investigation of Performance Indicators for Unmanned Traffic Information
Management System

Vorgelegte Master-Thesis von Jan Pertz aus Frechen

1. Gutachten: Prof. Dr.-Ing. Uwe Klingauf
2. Gutachten: Michael Büddefeld und Hugo Eduardo

Tag der Einreichung:

**HIER KOMMT
MEINE
AUFGABEN-
STELLUNG
HIN**

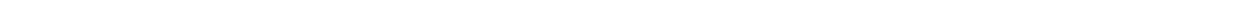
**HIER KOMMT
MEINE
AUFGABEN-
STELLUNG
HIN**

Erklärung zur Master-Thesis

Hiermit versichere ich, die vorliegende Master-Thesis ohne Hilfe Dritter nur mit den angegebenen Quellen und Hilfsmitteln angefertigt zu haben. Alle Stellen, die aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht. Diese Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen.

Darmstadt, den 18.03.2019

(Autor)



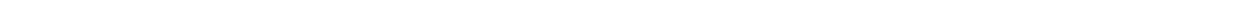
Danksagung

Dieses Kapitel wird genutzt, um bestimmten Personen zu danken, die durch ihre Unterstützung und ihre Hilfe maßgeblich zur Entwicklung der Studie beigetragen haben.

An erster Stelle möchte ich meine beiden Betreuern Hugo Eduardo und Michael Büddefeld, repräsentativ Prof. Dr.-Ing. Uwe Klingauf als Leiter des Instituts Flugsysteme und Regelungstechnik der TU Darmstadt, danken. Während der Bearbeitung des Themas haben sie keine Einschränkungen und Annahmen vorgegeben, sodass ich die Methode und Methodik dieser Arbeit frei wählen konnte. Insbesondere durch das komplexe und interdisziplinäre Thema, zu dem keine Referenzen existieren, in denen ebenfalls Indikatoren zur Leistungsbestimmung ex ante identifiziert und untersucht sind, war eine eigenständige Herangehensweise an das Thema eine große Hilfe, die durch meine beiden Betreuer ermöglicht wurde. Während der Anfertigung der Arbeit konnte ich stets von einem respektvollen und guten Verhältnis profitieren, das mir die Bearbeitung des Themas erleichtert hat.

Weiterhin möchte ich meinen Vater Martin Pertz nennen, der seit Beginn der Arbeit mich zu Diskussionen zum Thema der Studie angeregt hat. Aus den Gesprächen sind viele neue Ideen entstanden, die bedeutenden Einfluss auf die Ausarbeitung hatten. Durch ihn habe ich Aspekte des Themas betrachtet, die ich ohne unsere gemeinsamen Konversationen weniger intensiv oder nicht berücksichtigt hätte. Zusätzlich hat er mich während der Zeit, in der ich das Thema behandelt habe, durch seinen finanziellen Einsatz unterstützt. Derartige Zuwendungen haben ebenfalls bei der Bearbeitung des Themas geholfen.

Abschließend möchte ich den genannten Personen sowie Benjamin Eisbach für die Korrekturen der Ausarbeitung danken. Durch ihre Anmerkungen konnte ich wesentliche Verbesserungen an der Ausarbeitung vornehmen. Bei den genannten Personen muss ich mich für die konstruktive Kritik und die Vorschläge bedanken.



Kurzfassung

Deutsch

Durch die vermehrte Nutzung von Drohnen in den letzten Jahren wird ein kontrollierter und überwachender Luftraum für den unbemannten Luftverkehr benötigt. Um dieser Aufgabe gerecht zu werden, fördert die Europäische Kommission die Entwicklung des U-Spaces. Beim U-Space handelt es sich um ein Rahmenwerk, durch den hochautomatisierte Drohnenoperationen unterstützt werden sollen. Das SESAR Projekt H2020 IMPETUS zielt darauf ab, einen Rahmen für ein dediziertes Informationsmanagementsystem für den Drohnenverkehr im U-Space bereitzustellen. Die mit den Operationen verbundenen Informationen werden im Informationsmanagementsystem verarbeitet und an die relevanten Stakeholder verteilt. Von Beginn der frühen Entwicklungsphase des Informationsmanagementsystems sind Indikatoren erforderlich, durch die die Leistungsfähigkeit des Systems beurteilt wird. Anhand dieser Indikatoren wird das System aus funktionaler Sicht untersucht und bewertet. Durch die Verwendung der Indikatoren soll die Einführung eines sicheren, skalierbaren und hochautomatisierten Informationsmanagementsystems unterstützt werden. Die Indikatoren werden unter Berücksichtigung des breiten Spektrums der Konzepte für die Informationsdienste und der Zielerreichungen des U-Spaces identifiziert und untersucht. Anhand der Analyse von funktionalen Einflüssen und Informationsabhängigkeiten der Indikatoren untereinander werden Eigenschaften des Systems ermittelt. Dadurch ist es möglich, das Verhalten von externen Informationen wie der Wettervorhersage, der Topologie des Geländes und der Luftraumstruktur in Bezug auf den unbemannten Flugverkehr zu beurteilen. Zusätzlich werden die trägen Elemente, die hauptsächlich aus administrativen und formalen Aktivitäten bestehen, und die reaktiven Elemente, zu denen die Planung von Verkehr und Mission zählen, im System identifiziert. Darüber hinaus ermöglicht die Methode eine Beurteilung des Verhaltens des Systems, wenn sich Informationen in einem Teilaspekt des Systems ändern und Einfluss auf weitere Aktivitäten im U-Space ausgeübt werden. Aus den Erkenntnissen wird abgeleitet, inwiefern die Skalierbarkeit des Systems bei erhöhter Aktivität im U-Space beeinflusst wird. Demgegenüber wird die Automatisierung als ein robustes Element identifiziert, welches sich lediglich durch wenige Änderungen im System beeinflussen lässt. Zukünftige Studien sollen die Definition der Indikatoren verifizieren und die Eignung für den U-Space beurteilen.

Englisch

Due to the increased use of drones in the last years, a controlling and monitoring of unmanned airspace is required. To cope with this task, the European Commission promotes the development of U-space, a framework that shall also support highly automated drone operations. The SESAR H2020 project IMPETUS aims to provide a framework for a drone information management system dedicated for U-space. Here, information associated to the operation is processed and distributed to relevant stakeholders (ATM/ANS service providers, authorities). From the early development phase of the information management system, indicators are needed to evaluate the overall performance of the system. Based on these indicators, the system can be examined from a functional perspective as well. The utilization of such indicators shall ultimately support the implementation of a safe, scalable and highly automated management system. Considering a wide spectrum of information service concepts and following the key principles of U-space, indicators are identified and characterized. Performing a systematic analysis of the indicators' influence and their functional relation, the characteristics and properties of the system emerge. Thereby it is also possible to determine the external information (weather forecasts, terrain, airspace structure) that have a major impact on the activities of the unmanned air traffic. It becomes also evident which functions react inertly (administrative) and reactive (traffic and mission planning) on the system. Furthermore, the employed methodology allows to assess the behavioral changes of the system when the information of a subsystem is modified at a certain point of the operation. In particular, the findings reveal to what extent the scalability of the system can be controlled by the administrating entity as soon as the operational demand grows. In addition, automation capabilities of the system cannot be easily influenced by external factors thus are more difficult to cope with when changes are required. Future research and further evaluation shall allow the refinement of the indicators and the verification of their suitability for the U-space framework.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	II
Symbole und Indizes	XI
Abkürzungsverzeichnis	XII
1. Einleitung	1
1.1. Problemstellung und Motivation	1
1.2. Zielsetzung	4
1.3. Aufbau der Arbeit	6
2. Grundlagen und Untersuchungsgegenstand	9
2.1. Definition der IT-Infrastruktur Cloud Computing	9
2.1.1. Service-Orientierte Architektur	11
2.1.2. Microservices	12
2.2. Information Management System	13
2.2.1. Was sind Informationen?	13
2.2.2. Management by System	13
2.2.3. Systemeigenschaften	14
2.2.4. Das System Wide Information Management	18
2.3. Unmanned Aerial System	19
2.3.1. Klassifizierung der Drohnen	21
2.3.2. Einteilung und Kategorisierung in Deutschland	23
2.3.3. EU-Regularien	25
2.4. Forschungsvorhaben	26
2.4.1. SESAR	26
2.4.2. U-Space	27
2.4.3. IMPETUS	31
2.4.4. Use Cases und Einsatzumgebungen	31
2.4.5. Stakeholder	31
2.5. Auslegung der Kenngrößen zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit	33
2.5.1. Kritische Erfolgsfaktoren	34
2.5.2. Metrik	34
2.5.3. Die Kenngröße Key Performance Indicator	35
3. Systembeschreibung und Vorgehen	39
3.1. Informationsmanagementsystem für den unbemannten Luftverkehr	39
3.2. Serviceportfolio	40

3.3.	Vorgehen zur Identifizierung der PIs	41
3.3.1.	Ableiten der PIs aus den Services	42
3.3.2.	Die Performancematrizen	42
3.4.	Vorgehen zur Identifizierung der KPIs	42
3.4.1.	Zielsetzung des U-Spaces	42
3.4.2.	Herleitung der KPIs	43
3.5.	Die Beeinflussungsmatrix	44
3.5.1.	Einflussnahme und Beeinflussbarkeit	44
3.5.2.	Untersuchung der Relationen	47
3.5.3.	Evaluation der Aktivität der PIs	51
3.5.4.	Evaluation der Passivität der KPIs	52
3.6.	Zusammenfassung der Methode	53
4.	Identifizierung der Leistungskennzahlen	55
4.1.	Servicegerüst der PIs	55
4.1.1.	Luftraum-Infrastruktur	57
4.1.2.	Geographie	59
4.1.3.	Wettervorhersage	61
4.1.4.	UAV-Anforderungen	63
4.1.5.	UAV-Operatoren	64
4.1.6.	Kommunikation	65
4.1.7.	Navigation	67
4.1.8.	Überwachung	71
4.1.9.	Planning Operationen	72
4.1.10.	In-Flight Separation und Ausführung	74
4.1.11.	In-Flight Konformität	76
4.1.12.	Post-Flight Operationen	78
4.1.13.	Notfallhandlungen	80
4.1.14.	Mitteilungen	82
4.1.15.	Gesetzeskonformität	84
4.1.16.	Risiko und Versicherungsanalysen	85
4.1.17.	Ausnahmeregelungen	86
4.2.	Definition der KPIs	87
4.2.1.	Sicherer Betrieb	87
4.2.2.	Automatisierungsgrad	88
4.2.3.	Skalierbarkeit	89
4.2.4.	Schnittstelle zu Nutzern	90
4.2.5.	Performancebewertung der Privatsphäre	91
5.	Untersuchung der Leistungskennzahlen	93
5.1.	Auswertung der PIs	93
5.1.1.	Bestimmung der Relationen	94
5.1.2.	Zuordnung der Eigenschaften der PIs	95

5.2. Auswertung der KPIs	99
5.2.1. Relationen der KPIs	99
5.2.2. Zuordnung der Eigenschaften der KPIs	99
5.3. Bewertung der Indikatoreigenschaften	102
5.3.1. Charakterisieren der Aktivität von PIs	105
5.3.2. Charakterisieren der Passivität von KPIs	109
5.4. Diskussion der Methode und der Ergebnisse	113
5.4.1. Kritik an der Methode	113
5.4.2. Beurteilung der Ergebnisse	114
6. Fazit	117
6.1. Zusammenfassung der Ergebnisse	117
6.2. Ausblick	119
Glossar	121
Literaturverzeichnis	131
A. Service Portfolio	133
A.1. Aeronautical	133
A.1.1. Airspace and drone zone structure	133
A.1.2. Drone Port Reference	134
A.1.3. NOTAM	135
A.2. Geospatial	135
A.2.1. Terrain	135
A.2.2. Obstacles to drone navigation	135
A.2.3. Cartography	136
A.3. Wetter	136
A.3.1. Local-scale Weather	136
A.3.2. Micro-scale Weather	137
A.4. System UAS	137
A.4.1. UAS Characteristics	137
A.4.2. Drone Operators	138
A.5. Kommunikation	138
A.5.1. Traffic Management Link	138
A.5.2. CNPLC Link	139
A.5.3. Communication Performance	139
A.6. Navigation	140
A.6.1. Navigation aids	140
A.6.2. Singals of opportunity	140
A.6.3. Vision-based Navigation	141
A.6.4. Navigation Performance	142
A.7. Surveillance	142
A.7.1. Traffic Surveillance	142

A.7.2. Surveillance Performance	143
A.8. Flug	144
A.8.1. Flight Planning	144
A.8.2. Flight Management	144
A.8.3. Contingency Planning	145
A.8.4. Contingency Management	146
A.8.5. Flight Data Recording	146
A.9. Verkehr	146
A.9.1. Traffic Planning	147
A.9.2. Flight Plan Conformance Monitoring	147
A.9.3. Traffic Control	148
A.9.4. Traffic Data Recording	148
A.10. Mission	148
A.10.1. Mission Planning	149
A.10.2. Mission Execution and Conformance Monitoring	149
A.10.3. Mission Data Recording	149
A.11. Administrative	150
A.11.1. Law Enforcement	150
A.11.2. Reminder, Warnings and Alerts	150
A.11.3. Risk and Insurance	151
A.11.4. Special Authorization and Exemptions	151
B. Relationen der Beeinflussungsmatrizen	153
B.1. System PP	153
B.2. System KK	162
B.3. System PK	164
C. Die neue Drohnen Verordnung	169
D. Luftraumstruktur und Sichtflugregeln	171

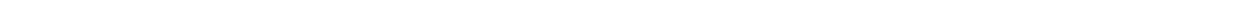
Nomenklatur

Symbole

α	genormte Aktivsumme
AS	absolute Aktivsumme
PI	Performance Indicator
π	genormte Passivsumme
PS	absolute Passivsumme
KPI	Key Performance Indikator
R	Relation

Indizes

α^{PP}	genormte Aktivität von PIs auf PIs
α^{KK}	genormte Aktivität von KPIs auf KPIs
α^{PK}	genormte Aktivität von PIs auf KPIs
PI_A	Performance Indicator A
π^{PP}	genormte Passivität von PIs auf PIs
π^{KK}	genormte Passivität von KPIs auf KPIs
π^{PK}	genormte Passivität von PIs auf KPIs
KPI_A	Key Performance Indicator A
R_{ij}	Relation von Element i auf Element j
R_{max}	maximaler Relationswert



Abkürzungsverzeichnis

Deutsch

<i>AS</i>	Aktivsumme
<i>BMVI</i>	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
<i>DFS</i>	Deutsche Flugsicherung
<i>EATMA</i>	Europäische ATM Architektur
<i>iABG</i>	Industrieanlagen-Betriebsgesellschaft mbH
<i>PNSD</i>	plattformneutralen Service-Design
<i>PS</i>	Passivsumme

Englisch

<i>A/G</i>	Air/Ground
<i>ACL</i>	Autonomous Control Level
<i>ADS – B</i>	Automatic Dependent Surveillance-Broadcast
<i>AIRM</i>	ATM Information Reference Model
<i>AIXM</i>	Aeronautical Information Exchange Model
<i>AGL</i>	Above Ground Level
<i>AOC</i>	Air Operator Certificate
<i>ATCO</i>	ATC Controller Officer
<i>ATOL</i>	Automatic Take-Off and Landing
<i>ATM</i>	Air Traffic Management
<i>ATS</i>	Air Transport System
<i>AV</i>	Aerial Vehicle
<i>AVID</i>	Aerial Vehicle Identification
<i>BRLOS</i>	Beyond Radio Line-Of-Sight
<i>BVLOS</i>	Beyond Visual Line-Of-Sight
<i>C2</i>	Command and Control
<i>CA</i>	Collision Avoidance
<i>CR</i>	Close Range
<i>CNS</i>	Communication, Navigation and Surveillance
<i>COA</i>	Certificate of Authorization
<i>COTS</i>	Commercial Off The Shelf
<i>CNPLC</i>	Command and Non-Payload Communication
<i>CPDLC</i>	Controller/Pilot Data Link Communication
<i>CSF</i>	Critical Success Factor
<i>CTOL</i>	Conventional Take-Off and Landing
<i>DAA</i>	Detect And Avoid

<i>DEC</i>	Decoy
<i>DO</i>	Drone Operator
<i>DSM</i>	Digital Surface Model
<i>EASA</i>	European Union Aviation Safety Agency
<i>EFT</i>	Emergency Flight Termination
<i>ELT</i>	Emergency Location Transmitter
<i>EO</i>	Elektro-optisch
<i>EXO</i>	Exo-Stratosphärisch
<i>FIXM</i>	Flight Information Exchange Model
<i>FCC</i>	Flight Control Computer
<i>FCS</i>	Flight Control System
<i>FMS</i>	Flight Management System
<i>G/G</i>	Ground/Ground
<i>GCS</i>	Ground Control Station
<i>HALE</i>	High Altitude Long Endurance
<i>HMI</i>	Human-Machine Interface
<i>IaaS</i>	Infrastructure as a Service
<i>ID</i>	Identification
<i>IMPETUS</i>	Information Management Portal to Enable the Integration of Unmanned Systems
<i>IMS</i>	Informations Management System
<i>INS</i>	Inertial Navigation System
<i>ISRM</i>	Information Service Reference Model
<i>KPI</i>	Key Performance Indicator
<i>LADP</i>	Low Altitude Deep Penetration
<i>LALE</i>	Low Altitude Long Endurance
<i>LDZ</i>	Limited Drone Zone
<i>LET</i>	Lethal
<i>LoC</i>	Loss-of-Communication
<i>LoE</i>	Loss-of-Engine
<i>LoG</i>	Loss-of-GNSS
<i>LoL</i>	Loss-of-Link
<i>LoS</i>	Loss-of-Separation
<i>LoT</i>	Loss-of-Telemetry
<i>MALE</i>	Medium Altitude Long Endurance
<i>MAV</i>	Micro Air Vehicle
<i>MOPS</i>	Minimum Operational Performance Standards
<i>MR</i>	Medium Range
<i>MRE</i>	Medium Range Endurance
<i>MRO</i>	Maintenance, Repair and Overhaul
<i>MTOM</i>	Maximal Take-Off Mass
<i>NASA</i>	National Aeronautics and Space Administration
<i>NIST</i>	National Institute of Standards and Technology
<i>NDZ</i>	No-Drone Zone
<i>NOTAM</i>	Notice to Airmen

<i>NOTDO</i>	Notice to Drone Operator
<i>PaaS</i>	Platform as a Service
<i>PBCS</i>	Performance-based Communciation and Surveillance
<i>PI</i>	Performance Indicator
<i>PIC</i>	Pilot-In-Command
<i>RF</i>	Radio Frequency
<i>RLOS</i>	Radio Line-Of-Sight
<i>RLP</i>	Required Link Performance
<i>RNAV</i>	Random Navigation
<i>RP</i>	Remote Pilot
<i>RPA</i>	Remotely Piloted Aircraft
<i>RPAS</i>	Remotely Pilot Aircraft System
<i>RPS</i>	Remote Pilot Station
<i>RPV</i>	Remotely Piloted Vehicle
<i>SaaS</i>	Software as a Service
<i>SaR</i>	Search and Rescue
<i>SES</i>	Single European Sky
<i>SESAR</i>	Single European Sky ATM Research
<i>SJU</i>	SESAR Joint Undertaking
<i>SIM</i>	Subscriber Identity Module
<i>SOA</i>	Service-oriented Architektur
<i>SoO</i>	Signales-of-Opportunity
<i>SoS</i>	System of Systems
<i>SP</i>	Service Provider
<i>SR</i>	Short Range
<i>SSR</i>	Surveillance Radar System
<i>Strato</i>	Stratosphärisch
<i>STOL</i>	Short Take-Off and Landing
<i>SVO</i>	Semi-direct Visual Odometry
<i>SWAP</i>	Size, Weight and Power
<i>SWIM</i>	System Wide Information Management
<i>SWIM – TI</i>	SWIM Technical Infrastructure
<i>TCAS</i>	Traffic Allert and Collision Avoidance System
<i>UA</i>	Unmanned Aircraft
<i>UAS</i>	Unmanned Aerial System
<i>UAV</i>	Unmanned Aerial Vehicle
<i>UCAV</i>	Unmanned Combat AV
<i>UTM</i>	UAS Traffic Management
<i>V2I</i>	Vehicle to Infrastructure
<i>V2V</i>	Vehicle to Vehicle
<i>VFR</i>	Visual Flight Rules
<i>VHF</i>	Very High Frequencies
<i>VLL</i>	Very Low-Level
<i>VLOS</i>	Visual Line-Of-Sight

<i>VPN</i>	Virtual Private Network
<i>VTOL</i>	Vertical Take-Off and Landing
<i>WXXM</i>	Weather Information Exchange Model

1 Einleitung

UAS, UAV, RPAS, RPV, AV, eVTOL, MALE, HALE, MAV, Quadcopter...

All dies sind Begriffe, die der technisch interessierte Leser bereits gehört hat und nicht immer direkt zuordnen kann. Hinter den Begriffen steckt im Wesentlichen der Begriff *Drohne*. Flugobjekte, die als Drohnen bezeichnet werden, besitzen keinen On-Board Piloten. Gesteuert werden Drohnen entweder durch einen Piloten am Boden oder durch intelligente autonom agierende Software und Hardware. Neben Größe, Masse, Reichweite, Systemdesign und Anwendungsfall unterscheiden sich Drohnen insbesondere durch ihren Antrieb. Als Drohnen bezeichnete Flugobjekte sind derzeit lediglich durch wenige Ausprägungen kategorisiert oder typisiert.

In dieser Arbeit wird der untere Luftraum betrachtet, der speziell für den Drohnenverkehr entwickelt wird. Der U-Space bietet eine Reihe von Diensten an, durch die die Ausführung verschiedener Missionen mit unterschiedlichen Drohnen und Geschäftsmodellen in diesem Luftraum geregelt und beschrieben wird. Drohnenoperationen im U-Space werden durch verschiedene Dienste unterstützt. Mit diesen Diensten wird ein sicherer und effizienter Zugang zu Funktionen und Prozeduren gestaltet, sodass im definierten Luftraum ein hohes Drohnen-Aufkommen realisiert werden kann, ohne dass die Sicherheit von Mensch und Maschine beeinträchtigt wird. Zugleich bietet der U-Space eine Schnittstelle zur bemannten Luftfahrt und der Flugsicherung.

Während der frühen Entwicklungsphase des U-Spaces, in der bislang lediglich Konzepte erarbeitet sind, müssen Indikatoren geschaffen werden, um die Leistungsfähigkeit des U-Spaces beurteilen zu können. Die Indikatoren repräsentieren das Maß, mit dem der Drohnenverkehr sicher und effizient beherrscht wird. Auf Grundlage der Beurteilung durch Indikatoren werden Konzepte im U-Space beurteilt und evaluiert. Mit den Kenngrößen werden Teilaspekte des Systems gewertet, sodass Lösungen für Konzeptentwürfe in einem Benchmark gegenübergestellt werden können. Es gilt das Konzept zu erarbeiten, das die Grundlage schafft, Drohnen und dessen Nutzer am sichersten und effizientesten im Rahmen des U-Space im Luftraum zu integrieren.

1.1 Problemstellung und Motivation

Die Nutzung von Drohnen kann von kleineren privaten Anwendungen bis zu großflächigen industriellen Einsatzgebieten variieren. Je nach Anwendung kommen unterschiedliche Drohnenkonfigurationen zum Einsatz. Falls ein Anwender mit mehreren Drohnen parallel operiert, besteht seine Aufgabe in der Überwachung und im Management einer Drohnenflotte. Für die Erfüllung von Missionen transportieren die Drohnen eine Payload. Abhängig von ihrer Mission operieren

Drohnen mit Sensoren, Paketen oder sogar Personen als Payload. In Abbildung 1.1 ist ein Überblick über verschiedene Anwendungsfälle dargestellt. In den weißen Umkreisungen sind die Flugobjekte hervorgehoben, für die der U-Space zur Verfügung stehen soll.



Abbildung 1.1.: Verkehrssituation des unbemannten Luftverkehrs nach NASA [Car16]

In der Abbildung 1.1 sind diverse Anwendungsfälle dargestellt. Neben den bodennahen Szenarien berücksichtigt der U-Space die Schnittstelle zur bemannten Luftfahrt. Dafür muss ein Informationsaustausch zwischen dem unbemannten und dem bemannten Luftverkehr hergestellt werden. Exemplarisch wird die bemannte Luftfahrt allgemein durch die einmotorige Propellermaschine am oberen Bildrand symbolisiert. Als Anwendungsfälle sind sechs Beispiele angedeutet.

- Überwachung von Streckenabschnitten des Zugverkehrs oder des Automobilverkehrs
- Aufzeichnung von gesellschaftlichen Ereignissen wie Sportevents aus der Luft
- Unterstützung der Rettungskräfte in Katastrophengebieten
- Vermessung oder Kontrolle in der Agrarwirtschaft
- Lieferung von Paketen
- Nutzung für den privaten Gebrauch

Unabhängig davon, welche Mission die Drohne im Luftraum ausführt, stellt jede einzelne Drohne einen Verkehrsteilnehmer im Luftraum dar. Bisherige Drohnenmissionen benötigen keine Flugsicherung, da die Verkehrsdichte hinreichend gering ist, um alle Drohnen unabhängig operieren lassen zu können. Bei einem erhöhten Verkehrsaufkommen wird eine Instanz benötigt, die alle Operationen im Luftraum koordiniert und überwacht. In diesem Fall müssen die Flugrouten und Mission koordiniert und abgestimmt sein, damit es zu keinen Kollisionen im bodennahen Luftraum kommt.

Aus diesem Grund werden unabhängige Studien angefertigt, um das Verkehrsaufkommen von Drohnen in den nächsten Jahren zu prognostizieren. Bei den Prognosen wird nach Anwendungsgebieten unterschieden. Für die Anwendungsgebiete werden teilweise jährliche Wachstumsraten veröffentlicht, die für spezielle Drohnen-Operation erwartet werden. Der Flugzeughersteller Airbus erwartet für den Raum Paris schätzungsweise 20.000 Drohnenflüge pro Stunde für das Jahr 2035. Zum Vergleich, aktuell werden etwa 100 Drohnenflüge pro Stunde in Paris registriert. Innerhalb weniger als 20 Jahren wächst laut Airbus der Verkehr von unbemannten Luftfahrzeugen um das 200-fache [BPM⁺18]. Im Rahmen einer Studie der EASA zur Festlegung neuer Regularien werden diverse Anwendungsfälle untersucht und ihre Entwicklung für die nächsten Jahre prognostiziert. Für den Zeitraum von 2015 bis 2020 erwartet die EASA eine jährliche Wachstumsrate von 25 % bis 50 % je nach Anwendungsfall weltweit [Eur17].

In der European Drones Outlook Study ist der Drohnenmarkt bis 2050 analysiert. Es wird ein kontinuierliches Wachstum in den drei Bereichen *Militär*, *Kommerziell* und *Freizeit* für den europäischen Luftraum erwartet. Das Drohnenaufkommen in den drei Bereichen ist in Abbildung 1.2 dargestellt.

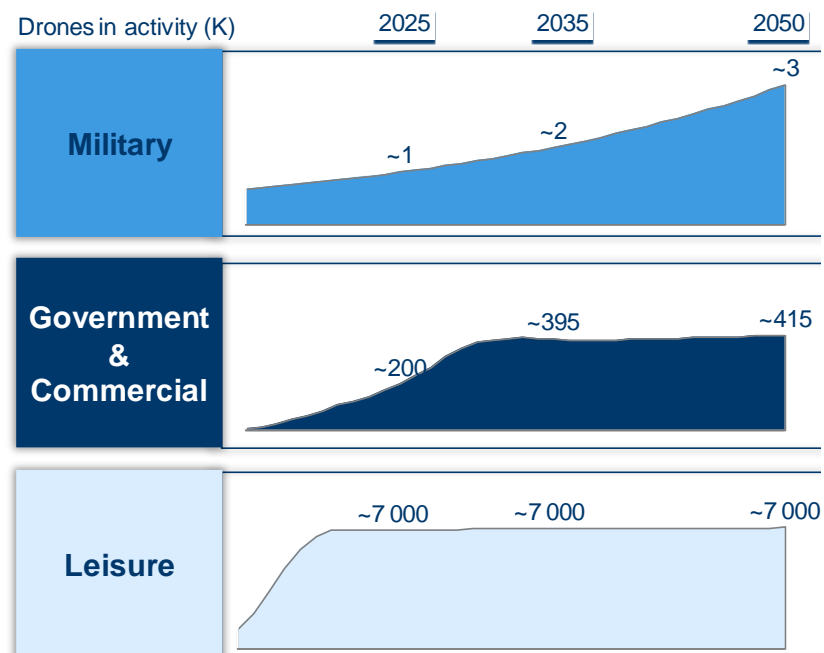


Abbildung 1.2.: Entwicklung des Drohnenaufkommens bis 2050 [SES16]

Die Prognose berücksichtigt diverse Anwendungsfälle analog zur Darstellung in Abbildung 1.1. Aus der Untersuchung des Wachstums für den europäischen Drohnenverkehr werden drei wichtige Erkenntnisse zusammengefasst [SES16].

- Die langjährige Entwicklung des Marktes eröffnet neue Möglichkeiten im staatlichen und kommerziellen Sektor. Eine Marktreife der Drohnen für Freizeitaktivitäten wird für 2020 erwartet.
- Bis 2035 wird ein Wachstum von mehr als 10 Mrd. € erwartet. Dadurch entstehen \approx 100.000 neue Arbeitsplätze.
- Es müssen Maßnahmen ergriffen werden, um den Anschluss an den chinesischen und US-amerikanischen Markt nicht zu verlieren.

Aufgrund von Reichweiten und Flughöhen der Drohnen im U-Space sind die Missionen in diesem Luftraum gegenüber Missionen des bemannten Luftraumes kürzer. Größe des Luftfahrzeuges, Ladung und Energieversorgung bestimmen die notwendige Zeit, um ein Luftfahrzeug für eine weitere Mission zur Verfügung stellen zu können. Die Umdrehzeit (engl. Turn-Around), die durch den Zeitpunkt der Landung bis zum Zeitpunkt des nächsten Startes definiert ist, fällt bei Drohnen aufgrund der Größenordnung kürzer aus [van06][LNP16]. Die Kombination aus einem hohen Verkehrsaufkommen, verschiedenen Nutzern und dessen Geschäftsmodellen sowie der Heterogenität verschiedener Drohnenkonfigurationen erfordert ein anpassungsfähiges, agiles und flexibles System, das den Verkehr im unbemannten Luftraum überwacht und steuert. Der dafür geschaffene U-Space plant, kontrolliert und führt die Missionen der Drohnen sicher und effizient aus. Für dieses Ziel müssen Informationen zwischen einzelnen Akteuren im System verfügbar und zugänglich bereit gestellt werden.

1.2 Zielsetzung

Das Informationsmanagementsystem wird benötigt, um die Drohnen sicher und effizient im bodennahen Luftraum zu integrieren. Es verarbeitet Informationen aus verschiedenen Quellen, Formaten und Anbietern, um den Nutzern des Systems alle Informationen zur Verfügung zu stellen. Aufgrund der vielen Einflüsse in einem Informationsmanagementsystem für den unbemannten Luftraum sind verschiedene Dienste notwendig, die Teilaufgaben übernehmen. Eine Teilaufgabe besteht beispielsweise in der Aufnahme, Verarbeitung, Aufzeichnung oder Verbreitung von Daten. Dienste werden von unterschiedlichen Anbietern der Industrie oder von staatlichen Institutionen angeboten. Im Informationsmanagementsystem wird die Heterogenität der Informationen standardisiert und die Daten werden untereinander für die einzelne Dienste kompatibel zugänglich gemacht. Dieser Aufwand wird betrieben, um letztlich den Drohnen einen Luftraum bieten zu können, in dem bodennahe Operationen von unbemannten Luftfahrzeugen durchgeführt werden können.

Bereits in der frühen Entwicklungsphase des U-Spaces werden Kenngrößen benötigt, um die Funktionalität und Eignung verschiedener Systemarchitekturen des Informationsmanagementsystems beurteilen zu können. Die für diesen Zweck eingeführten Kenngrößen sind Indikatoren für die

Leistungsfähigkeit des Informationsmanagementsystems. Mit Indikatoren werden Teilaufgaben des Systems abgebildet. In jedem Indikator werden die Zielrichtungen, die kritischen Erfolgsfaktoren, die Messungen und die daraus ableitbaren Metriken der betrachteten Dienste und dessen Teilaufgaben festgehalten. Da bisher das Informationsmanagementsystem als reines Konzept definiert ist, sind alle Indikatoren in dieser Arbeit qualitativ bestimmt. Als Grundlage für die Identifizierung der Indikatoren dienen die Beschreibungen der bereits definierten Dienste im U-Space und dessen zentrale Grundprinzipien zur Erreichung der Ziele des Luftraumes.

Im Anschluss an die Identifikation der Indikatoren werden die Kenngrößen untersucht. Somit wird die Funktionalität des Informationsmanagementsystems beurteilt. Aufgrund der qualitativen Bestimmung der Indikatoren werden keine mathematischen Zusammenhänge und Abhängigkeiten abgeleitet. Stattdessen wird eine Variante der Informationsabhängigkeit erstellt. Jeder Dienst im U-Space ist lediglich als Black Box beschrieben. Es liegt nur die Kenntnis der Eingangs- und Ausgangsgrößen jedes Dienstes vor. Auf dieser Grundlage werden Informationsabhängigkeiten in Form von Relationen betrachtet. Falls ein Dienst Informationen eines anderen Dienstes benötigt, so besteht zwischen ihnen eine Beeinflussbarkeit durch Informationen. Dienste können unterschiedlich stark von Informationen anderer Dienste abhängig sein. Anhand der Informationsbeziehungen untereinander können den einzelnen Teilsystemen Eigenschaften zugeordnet werden. Durch diese Eigenschaften wird eine Vernetzung der einzelnen Dienste im System bestimmt. Dienste, die durch ihre Informationen stark weitere Elemente beeinflussen, sind sehr aktiv. Abwandlungen der Informationen als Ausgangsgröße der aktiven Elemente bewirken eine hohe Veränderung im System. Diese Elemente sind stark vernetzt. In der Entwicklung eines Konzeptes für ein Informationsmanagementsystem müssen aktive Elemente besonders sorgfältig behandelt werden. Demgegenüber stehen träge und reaktive Elemente im System. Anhand dieser Dienste wird die Leistungsfähigkeit des Systems beurteilt. Durch passive Dienste werden Indikatoren abgebildet, die aufgrund ihrer Beeinflussung ein Ergebnis unterschiedlicher Aspekte im U-Space sind. Sie lassen sich lediglich schwer direkt anpassen, sondern werden erst durch äußere Einflüsse signifikant manipuliert.

Das Ziel ist, jedem Indikator eine Eigenschaft zuzuordnen auf Basis dessen die Integration und Vernetzung im System bestimmt wird. Aufgrund der Charakterisierung des Systems durch Eigenschaften einzelner Teilaspekte im U-Space können Konzeptentwürfe für ein Informationsmanagementsystem beurteilt werden. Auf einzelne Teilsysteme kann durch die gezielte Beeinflussung von Informationen eingegriffen werden. Durch die Zuordnung der Eigenschaften wird beurteilt, welche Teilaspekte im U-Space geändert werden müssen, um ein definiertes Ziel, das in einem Indikator identifiziert ist, beeinflussen zu können.

Die in dieser Arbeit ausgearbeitete Methode zur Untersuchung der Indikatoren basiert auf den Beeinflussungsmatrizen nach Gomez und Probst [PG89]. Anhand dieses Modells, das auf gegenseitigen Relationen der Indikatoren basiert, ist ein Vorgehen zur Untersuchung von verschiedenen Indikatoren entwickelt. Mit dem Modell wird qualitativ das Verhalten und die Informationsabhängigkeit der Kenngrößen definiert. In einem Interview ist das Modell dem IMPETUS vorgestellt. Das IMPETUS ist ein Projekt innerhalb des U-Spaces, das die Eigenschaften und das Verhalten eines Informationsmanagementsystems untersucht. Die Methode dient als Grundlage für weitere

Konzepte und Überlegung, um verschiedene Indikatoren zu identifizieren und zu untersuchen.

1.3 Aufbau der Arbeit

In diesem Abschnitt wird der Aufbau der Arbeit erläutert. Ein Überblick über die Kapitel dient dem Verständnis der gewählten Vorgehensweise.

Aufgrund der Komplexität des behandelten Themas müssen vorab einige Definitionen erklärt und Begriffe festgelegt werden. Bevor die Plattform eines Informationsmanagementsystems in Kapitel 2.2 veranschaulicht wird, ist in Kapitel 2.1 die IT-Infrastruktur erläutert, auf der das Informationsmanagementsystem basiert. Mit Hilfe eines bereits bestehenden Konzepts eines Informationsmanagementsystems, das System Wide Information Management System, wird die Idee, die hinter dem Konzept steckt, näher beschrieben und erklärt. Anschließend wird das Flugobjekt *Drohne* und das Forschungsvorhaben präzisiert. Schließlich werden die Indikatoren ausgelegt, die für das Informationsmanagementsystem identifiziert werden, um die Leistungsfähigkeit des Informationsmanagementsystems untersuchen zu können.

Aus den Grundlagen wird in Kapitel 3 die Methode zur Identifizierung und Untersuchung von Kenngrößen zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit des Informationsmanagementsystems dargestellt. In der Beschreibung der Methode wird der Zusammenhang von Indikatoren, Informationsmanagementsystem, UAV und Beeinflussungsmatrix hergestellt. Neben dem Aufbau der Beeinflussungsmatrix, in der die Relationen der Indikatoren festgehalten sind, wird erklärt, welche Erkenntnisse aus den Informationsabhängigkeiten gewonnen werden können, um das Verhalten von Teilsystemen im Informationsmanagementsystem beurteilen zu können.

Die Methodik ist in dieser Ausarbeitung in zwei Kapitel unterteilt. In einem ersten Schritt werden in Kapitel 4 die Indikatoren identifiziert, die für die Analyse des Systems erforderlich sind. Ein Großteil der Indikatoren basiert auf den Beschreibungen der Dienste aus Anhang A. Im zweiten Teil der Methodik in Kapitel 5 werden die zuvor definierten Indikatoren durch die Methode der Beeinflussungsmatrix untersucht. Die der Beeinflussungsmatrix zugrunde liegenden Relationen sind im Anhang B begründet. Aus den Metriken der Beeinflussungsmatrix werden für die Indikatoren Eigenschaften abgeleitet. Mit den Eigenschaften der Indikatoren wird ein Überblick über die Dienste im U-Space und der Teilsysteme im Informationsmanagementsystem geschaffen.

Alle Ergebnisse und Erkenntnisse aus der Methodik werden im Fazit in Kapitel 6 zusammengefasst. Aus den Annahmen im Modell und den Bezugsdokumenten wird die Relevanz und Signifikanz der Ergebnisse beurteilt. Auf Grundlage der Methode können weitere Untersuchungen aufgebaut werden.

Abschließend sei angemerkt, dass ein Großteil der Indikatoren ausschließlich auf dem Servicegerüst der definierten Dienste basiert, die in den Drone Information Services definiert sind [NBJ⁺18]. Mit der Definition der Indikatoren wird unmittelbar auf die Beeinflussungsmatrizen und die daraus resultierende Ergebnisse eingewirkt. Da sich das Konzept in einer frühen Entwicklungsphase be-

findet, ist davon auszugehen, dass die Teilsysteme im U-Space im weiteren Verlauf der Forschung aufgrund neuer Erkenntnisse und Entwicklungen angepasst werden. Dadurch ändern sich unmittelbar die Charakteristika der Indikatoren. Aus diesem Grund können die gewonnenen Ergebnisse und Erkenntnisse von zukünftigen Konzepten variieren. Deshalb ist die Methode und Methodik, die in dieser Arbeit vorgestellt sind, tendenziell als ein Vorgehen oder Rahmenwerk zu verstehen, wie Indikatoren in einem Informationsmanagementsystem identifiziert und untersucht werden können.



2 Grundlagen und Untersuchungsgegenstand

Bevor die Methode zur Identifizierung und Untersuchung der Kenngrößen zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit eines Informationsmanagementsystems (IMS) erläutert werden können, müssen wesentliche Begriffe beschrieben werden. Das Cloud Computing ist eine IT-Infrastruktur, auf der das IMS aufgebaut ist, und in Kapitel 2.1 beschrieben wird. Das IMS selbst wird in Kapitel 2.2 definiert und am Beispiel des System Wide Information Managements, einem bestehenden Konzept für ein IMS der bemannten Luftfahrt, veranschaulicht. Das IMS wird für den Verkehr von unbemannten Luftfahrzeugen erstellt. Klassifizierungen und Beschreibungen von Drohnen befinden sich in Kapitel 2.3. In Kapitel 2.4 sind das Forschungsvorhaben für das IMS und die daran beteiligten Einrichtungen beschrieben. Für das IMS werden in dieser Arbeit Kenngrößen zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit identifiziert und untersucht. Die dafür eingeführten Indikatoren werden in Kapitel 2.5 ausgelegt. Die Beschreibung der Kenngrößen wird in Kapitel 3 genutzt, um die Methode zur Untersuchung des IMS zu beschreiben.

2.1 Definition der IT-Infrastruktur Cloud Computing

In diesem Kapitel wird das Cloud Computing definiert. Es ist eine IT-Infrastruktur, auf der das Informationsmanagementsystem, das für den bodennahen unbemannten Luftraum entworfen wird, in Zukunft basieren soll. Das Konzept des Informationsmanagementsystems wird im Anschluss in Kapitel 2.2 definiert.

Bislang hat sich keine einheitliche universale Definition für Cloud-Computing etabliert. Innerhalb des Cloud-Computing werden elektronische Ressourcen bereitgestellt, um Dienste dynamisch zur Verfügung zu stellen.

Unter Ausnutzung [und Beanspruchung] virtualisierter Rechen- und Speicherressourcen und moderner Web-Technologien stellt **Cloud-Computing** skalierbare, netzwerk-zentrierte, abstrahierte IT-Infrastrukturen, Plattformen und Anwendungen als On-Demand Dienste zur Verfügung [BKNT11].

Im Folgenden wird für den Begriff *Dienst* die englische und gebräuchlichere Version *Service* genutzt. Anwender können über einen Zugang ihres Klienten auf Services zugreifen. Dieser Zugang geschieht mit minimalen Managementaufwand des Service-Providers (SP). Das National Institute of Standards and Technology (NIST) hat für das Cloud-Computing fünf essentielle Charakteristiken definiert [MG]. Die deutschen Übersetzungen sind nach Baun benannt [BKNT11].

1. **On-Demand self-service - Dienstbringung auf Anforderung**

Anwender nutzen Services selbstständig

Es ist keine menschliche Interaktion mit dem SP erforderlich

2. **Broad Network Access - Netzwerkbasierter Zugang**

Nutzung in Echtzeit

Zugang über standardisierte Clients - Tablet, Laptop, etc.

3. **Resource Pooling - Ressourcen Pooling**

Parallele Dienstbringung für mehrere Nutzer

Kunden kennen nicht den exakten Standort ihrer Datenverarbeitung

4. **Rapid Elasticity - Elastizität**

System ist schnell skalierbar

5. **Measured Service - Messbare Dienstqualität**

Services sind quantitativ und qualitativ messbar

Nach NIST sind weiterhin drei Service-Modelle definiert. Dazu zählen Software as a Service (SaaS), Platform as a Service (PaaS) und Infrastructure as a Service (IaaS), die in den nächsten drei Abschnitten beleuchtet werden.

Software as a Service

Bei der SaaS-Ebene hat ein Nutzer Zugang zu einer Anwendung, im Allgemeinen zu einem Service. Die Schnittstelle erfolgt über einen Client. Dieser kann entweder über einen Web-Browser oder ein Programm Interface abgebildet sein. Wegen der Hinterlegung der Services auf einem Cloud-Server muss der Nutzer Anwendungen nicht auf seinem Endgerät installieren. Nutzer haben keinen Zugriff auf die Cloud-Infrastruktur. Hierzu zählen das Netzwerk, Server, Datenbanken oder individuelle Anwendungssoftware.

Platform as a Service

Insbesondere für Entwickler ist ein PaaS Angebot von hoher Attraktivität. Es wird eine Entwicklungsumgebung ermöglicht, in der eigene Software in einer spezifischen Programmiersprache entwickelt werden kann. Nutzer des PaaS haben keinen Einfluss und keine Kenntnis über den exakten physikalischen Speicherort ihrer hinterlegten Daten.

Infrastructure as a Service

Kunden der IaaS erhalten Einsicht in die Hardware einer Cloud-Infrastruktur. Sie erhalten Kontrolle über das operierende System, Speichermedien und bereitgestellte Anwendungen. Zu den Funktionalitäten der Benutzerschnittstellen zählt das Anlegen und Beseitigen von Betriebssystemen-Abbildern oder die Skalierung von Kapazitäten.

NIST hat eine weitere Einteilung für vier verschiedene Modelle für die Bereitstellung von Cloud-Infrastrukturen vorgenommen. Dazu zählen die *Private Cloud*, *Community Cloud*, *Public Cloud* und *Hybrid Cloud*. Dessen Erläuterungen werden an dieser Stelle nicht explizit aufgeführt. Die entsprechenden Definitionen sind in der Veröffentlichung von NIST enthalten [MG].

2.1.1 Service-Orientierte Architektur

Bisher sind die Anwendungen, die im Cloud-Computing genutzt werden, ausschließlich als Services beziehungsweise als Dienste erwähnt. In diesem Abschnitt wird erklärt, was eine Service-Orientierte Architektur (SOA) ist und wie ein Service im weiteren Verlauf dieser Arbeit behandelt werden soll.

Mit einer SOA wird ein Architekturstil beschrieben, durch den Effizienz, Agilität und Produktivität einer Organisation verbessert werden sollen. Um dieses Vorhaben zu realisieren, benötigt es Services, die untereinander kommunizieren. Charakterisiert werden sie durch ihre Anforderungen, Schnittstellen, Quelltexte und Qualitätsmerkmale. In der Literatur haben sich acht Entwurfsprinzipien für die SOA etabliert [Erl10].

1. Servicevertrag

Services teilen sich einen formalen Vertrag. Er ist eine Sammlung von Dokumenten, die den Service an sich und seine Nutzung beschreiben.

2. Lose-Kopplung

In einer SOA sollten Services möglichst autark konzipiert sein. Durch eine lose Kopplung sind sie austauschbar und unabhängig.

3. Serviceabstraktion

Das Ziel der SOA ist die Kapselung von Services. Somit sind nur für die Schnittstelle wesentliche Konzepte nach außen transparent.

4. Wiederverwendbarkeit

Ein Service soll von verschiedenen Akteuren genutzt werden. Annahmen sind demnach zu vermeiden.

5. Autonomie

Für eine vorhersagbare Leistung müssen Services ihre zugrunde liegenden Ressourcen kontrollieren. Services sollten daher selbständig und unabhängig operieren.

6. Zustandslosigkeit

Wenn die Historie eines Service für die Bearbeitung einer Anfrage unwesentlich ist, so ist der Service zustandslos. Je zustandsloser ein Service ist, desto skalierbarer ist er.

7. Auffindbarkeit

Services sollten automatisch ausgewählt und gefunden werden.

8. Zusammensetzbarkeit

Aus der Orchestrierung von verschiedenen Modulen können neue Dienste komponiert werden.

Im Verbund bilden mehrere Services ein Gesamtsystem ab. Dieses kennzeichnet sich durch eine erhöhte Konsistenz und Funktionalität. Durch die lose Kopplung besteht eine geringe Abhängigkeit. Deshalb müssen Services nicht untereinander von der Funktionsweise wissen, sondern nutzen Inputs ohne weitere Formatierungen. Wegen der erhöhten Verfügbarkeit und Skalierbarkeit durch die Anwendung einer SOA ist das System deterministischer [Erl10]. Für diese Arbeit ist ausschließlich die Funktion eines Service von Interesse. Zukünftig werden alle Services als Black Box behandelt. Es genügt die Kenntnis über Eingangsgröße und Ausgangsgröße. Der innere Aufbau ist für die folgenden Betrachtungen ohne Bedeutung.

2.1.2 Microservices

Eine Zerteilung der Services stellen Microservices dar. Im Vergleich zu den bereits beschriebenen Diensten, beziehen sich Microservices lediglich auf eine Aufgabe und sind daher isolierter. Sie bilden das Gegenstück zu einem monolithischen System. Ein Monolith bildet ein unzertrennliches und alle Funktionen inbegriffenes Gebilde. Microservices dagegen sind spezialisierter und bearbeiten nur einzelne Funktion. Sie sind sehr beschränkt auf ihrem Gebiet und im System alleinstehend [Tak17].

Vorteile einer Microservices-Architektur	Nachteile einer Microservices-Architektur
<ul style="list-style-type: none"> • Leicht testbar, analysierbar und skalierbar • Neue Technologien lassen sich leicht implementieren • Conways's Law: Erhöhte Anpassungsfähigkeit an ein System • Zuverlässig 	<ul style="list-style-type: none"> • Erhöhte Latenz • Netzwerkkomplikationen aufgrund der hohen Anzahl von Systemteilnehmern • Verlagerung der Komplexität zu einem funktionierenden Ganzen • Bisher existiert wenig Erfahrung mit der Implementierung und dem Umgang von Microservices

Tabelle 2.1.: Vor- und Nachteil einer Microservice-Architektur [Tak17]

Insbesondere dann, wenn die Organisation durch Expansion komplexer und unübersichtlicher wird, überwiegen die Vorteile von Microservices. Ein Monolith dagegen rentiert sich bei kleineren Systemen, die sich weiterhin übersichtlich in einem Ganzen realisieren lassen [SP18].

2.2 Information Management System

Ein Information Management System (IMS) ist ein abstrakter und weitreichender Begriff. In diesem Abschnitt werden die einzelnen Elemente eines IMS erläutert und in Bezug zueinander gebracht werden. Der Begriff wird konkretisiert und auf das in dieser Arbeit behandelte Thema bezogen. Für den unbemannten Luftverkehr wird ein IMS benötigt, das die erforderlichen Informationen im Luftraum verarbeitet und verschiedenen Nutzern zur Verfügung stellt. Am Beispiel eines bestehenden Konzeptes, dem System Wide Information Management, wird die Idee des Konzeptes eines IMS erläutert.

2.2.1 Was sind Informationen?

In den Natur- und Ingenieurwissenschaften sind die Ausdrücke *Energie*, *Materie* und *Information* von zentraler Bedeutung. Die Überbegriffe werden in einem System oder einer Organisation von den teilnehmenden Akteuren ausgetauscht und übermittelt. Für diese Arbeit ist die Klärung des Begriffes *Information* zwingend erforderlich.

Eine Aneinanderreihung von Buchstaben und Symbolen führt zu einer Zeichenkette. In der Informatik sind die Buchstaben und Symbole Elemente eines Zeichensystems, im Allgemeinen eines Alphabets. Nach ISO 2382 wird durch die Übertragung einer Zeichenkette auf einen Empfänger die Zeichenkette zu einer Nachricht. Der Empfänger kann mittels einer vorgegebenen Syntax, also eine vorgegebene Satzlehre, diese Nachricht auswerten und interpretieren. Eine Auswertung erfolgt entweder durch einen Algorithmus oder durch eine Person. Erst durch die Deutung der Nachricht kann der Empfänger ihr einen Sinn und eine Bedeutung entnehmen. Wenn dieser Sinn in einem Kontext steht, der zur Ausübung oder Anwendung einer Tätigkeit führt, so wird die Nachricht als Information bezeichnet [EC89]. Informationen stellen Bezüge zwischen Sachverhalten her und übertragen Wissen und Kenntnisse [DIN88]. Der Austausch von Informationen, demnach die Übermittlung von Nachrichten und deren anschließende Deutung, wird als Kommunikation bezeichnet [NBSS18].

2.2.2 Management by System

Die Begriffe *Management* und *Führung* werden häufig synonym verwendet. Dabei versteht Führung das Leiten von Personal [Fün00]. Management dagegen ist etwas allgemeiner formuliert. Für einen koordinierten und zielgerichteten Ablauf eines Prozesses in einem System bedarf es einer Instanz zur Erfüllung der Steuerungsfunktion. Nach Thommen kann Management demnach als eine Delegation von Aufgaben gedeutet werden. Management bezieht sich auf Abläufe in Systemen und koordiniert Flussgrößen innerhalb des Systems. Von Führen wird tendenziell dann gesprochen, wenn der Mensch einer Organisation im Mittelpunkt steht. Je nach Anwendergrundsatz wird in vier Managementtechniken unterteilt. Managementtechniken werden durch die vier Management-by-Konzepte unterschieden [TAG⁺17].

Management-by:

- Objectives: Erreichen von Zielsetzungen durch Erfüllen von Meilensteinen
- Exception: Eingriff bei Abweichung der Norm
- Delegation: Führen von oben durch Delegieren
- System: Koordinierung durch eine Systemsteuerung

Es wird folgend ausschließlich das Management-by-System-Konzept erklärt. Der Begriff *System* wird in Kapitel 2.2.3 im Nachtrag definiert. Unter Management-by-System wird im weitesten Sinne eine Systemsteuerung verstanden. Das Ziel ist das Erreichen eines bestmöglichen Zustandes des betrachteten Systems. Dafür werden alle Glieder einer Organisation durch Computerunterstützung in eine Umgebung integriert. Dadurch entsteht ein Netzwerk von verknüpften Elementen. Zwischen diesen Elementen werden Interaktionen verrichtet. Das Management-by-System ist letztendlich der Akteur, der bestimmt, welche Prozesse wann und wie durchgeführt werden. Es handelt sich dabei meist um automatisierte Programme für einen zielorientierten Arbeitsablauf. Bei einem Entscheidungsprozess werden Parameter jedes abhängigen Elementes berücksichtigt. Durch Management-by-System sollen Entscheidungsprozesse beschleunigt und Informationsversorgungen verbessert werden. Aufgrund der hohen Komplexität einer derartigen Management-Technik benötigt die Realisierung einen hohen Entwicklungsaufwand und damit verbundene hohe Kosten. Die Komplexität steigt mit der Anzahl der freien Parameter der teilhabenden Elemente [Häu77][TAG⁺17].

2.2.3 Systemeigenschaften

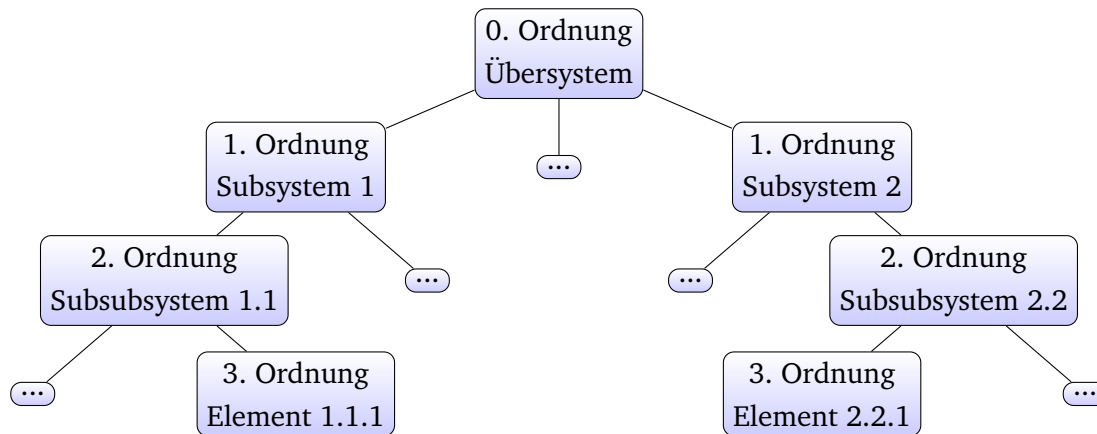
Ein System im Allgemeinen stellt eine Verbindung von Elementen dar. Die Elemente, bezeichnend für Teile und Komponenten eines Systems, sind Module einer Organisation. Nach Beer besteht ein System aus einer Ansammlung von relativ zueinanderstehenden Bestandteilen einer Gesamtheit [Bee62]. Jedes Element innerhalb eines Systems besitzt eine Funktion und erfüllt einen Zweck. Zwischen den Elementen bestehen Relationen. Beziehungen im Allgemeinen können unterschiedliche Ausprägungen haben. Einerseits können physische Größen den Einfluss auf andere Elemente ausüben. Überdies kann es sich bei einer Beziehung um Lagebeziehungen, Wirkzusammenhänge oder Ähnliches handeln. Die Gesamtheit aus Elementen und Beziehungen beschreibt ein Gefüge und besitzt eine Ordnung [Hab15].

Ein einzelnes Element kann selbst wiederum als ein System abgebildet werden. Alle bisher ausgehändigten Eigenschaften lassen sich auf diese nächste Ebene analog übertragen. In diesem Sinne werden Elemente, die ein eigenes System bilden, als Untersystem oder Subsystem beschrieben.

Beispiel für Subsysteme

Ein Unternehmen - hier Übersystem - gliedert sich in verschiedene Abteilungen. Jede Abteilung - hier Subsystem - bildet ein Element des Unternehmens. Innerhalb einer Abteilung befinden sich mehrere Arbeitsgruppen - hier Subsystem. Diese können wiederum nach Arbeitsplätzen aufgeteilt werden, die als Elemente des Subsystems Arbeitsgruppe aufgefasst werden.

Untergliederungen von mehreren Ebenen innerhalb eines Systems werden Systemhierarchie genannt. Einzelnen Stufen in der Hierarchie können Ordnungen zugewiesen werden. Darstellungen mittels Baumdiagrammen eignen sich gut, um ein derartiges modellhaftes Gefüge zu veranschaulichen [Hab15].



In der ersten Zeile jedes Moduls wird die Ordnung im Gesamten beschrieben. Die zweite Zeile beschreibt die jeweilige Bezeichnung. Als Analogie zum bereits erklärten Beispiel lassen sich die einzelnen Ebenen wie folgt zuweisen: 0. Ordnung ist das Unternehmen, das sich in mehrere Abteilungen - 1. Ordnung - aufteilt. Jede Abteilung besteht aus Arbeitsgruppen - 2. Ordnung. Eine Arbeitsgruppe verfügt über mehrere Arbeitsplätze - 3. Ordnung. Die Anzahl der Ebenen und der Spannen je Ebene ist vom Anwendungsfall abhängig und kann variieren. Exemplarisch gekennzeichnete Punkte stehen für beliebig viele weitere Äste. Wie bereits erwähnt, kann jedes Element eines Systems selbst ein eigenes System abbilden, bezeichnet als Unter- oder Subsystem. Derartige Strukturen werden als Systeme von Systemen (SoS) benannt. Verschiedene individuelle Systeme bilden eine große Hierarchie, zusammengefasst als ein Übersystem, das nach Maier und Rehtin aus zwei Merkmalen besteht [MR02]:

- Jedes Subsystem ist nicht vom Übersystem abhängig, d.h. es kann allein betrieben werden
- Jedes Subsystem des SoS wird unabhängig entwickelt

Zwischen einzelnen Subsystemen können allerdings Beziehungen bestehen, d.h. das zwischen ihnen ein Fluss von Materie, Energie oder Information, wie in Kapitel 2.2.1 beschrieben, besteht. Beziehungen zwischen den Elementen des Baumdiagramms sind hier nicht dargestellt.

Nach außen grenzt sich das System ab. Die Abgrenzung wird als Systemgrenze bezeichnend. Außerhalb des Systems befindet sich das Umfeld, welches weitere Systeme enthalten kann. Über die Grenze kann analog zur internen Kommunikation ein Austausch von Energie, Materie oder Informationen stattfinden. Falls dies der Fall ist, wird das System als offen bezeichnet. Dabei spielt es keine Rolle an welcher Stelle beziehungsweise auf welcher hierarchischen Ebene ein Input von außen in das Systemgefüge eingeht. Ein Eingangssignal wird für die Funktionserfüllung und Zielerreichung des Systems genutzt. Die Ausgangsgröße ist wieder Energie, Materie oder Information.

Beispiel für ein offenes System

Sei ein Fahrstuhl das System. Dieser besitze mehrere Elemente - Kabine, Seilabhängung, Bedienknöpfe und Weitere. Über die Grenze kann Material in Form von Menschen ausgetauscht werden. Fahrgäste betreten den Fahrstuhl und sind somit eine Eingangsgröße in das System Fahrstuhl. Die Funktion eines Fahrstuhls ist der Transport eines Fahrgastes in das gewünschte Stockwerk. Nach der Fahrt verlassen Fahrgäste den Fahrstuhl wieder. Die Ausgangsgröße ist Materie in Form von Fahrgästen.

Eine vereinfachte Modelldarstellung eines offenen Systems mit drei Subsystemen sieht wie folgt aus:

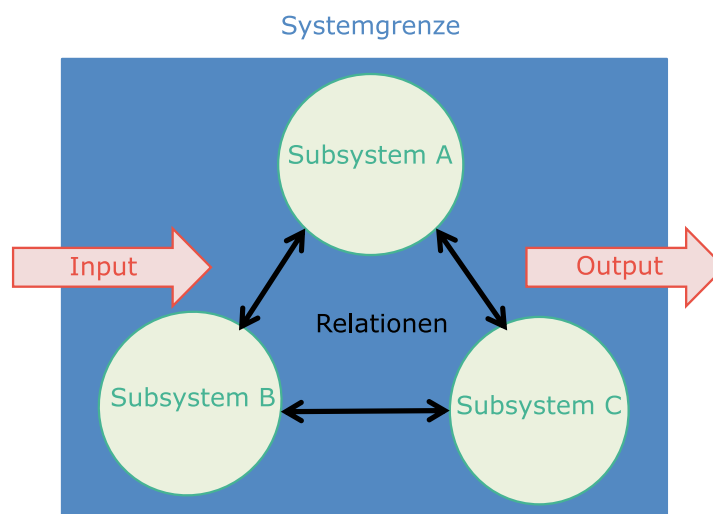


Abbildung 2.1.: Offenes System

Bei einer autarken Einheit wird das System als geschlossen definiert. Es findet kein Fluss über die Systemgrenzen hinaus statt. Relativ zur Umgebung befindet sich das System in einem isolierten Zustand und kann ohne äußere Einflüsse operieren. Nach DIN 44 300 ist ein System geschlossen, wenn die Menge der Schnittstellen zur Umgebung die leere Menge ist [DIN88]. Weiterhin sagt die Norm aus, dass die Forderung nach einem von der Umgebung isoliertem System generell nicht erfüllt werden kann. Somit bleibt der Gedanke des geschlossenen Systems bei einer Modellvorstellung. Annahmen wie diese helfen bei der Untersuchung von Charakteristika und Verhalten von Systemen. Unter dem Aspekt eines infinitesimalen Zeitfensters kann ein geschlossenes System vorliegen. Bei einer längerfristigen Betrachtung wird der betrachtete Bilanzraum geöffnet, tauscht Materie, Energie oder Informationen mit der Umgebung aus oder interagiert mit ihr.

Zusammenfassend besteht ein System aus diesen Eigenschaften [DS17]:

1. Beschreibt eine Struktur der gesamten Organisation
2. Besteht aus einem Zusammenhalt und Verbund von Elementen
3. Weist eine Emergenz auf, die nur dem Übersystem und keiner Komponente zugeordnet werden kann
4. Besitzt eine Hierarchie mit jeweiligen Aufgabengebieten
5. Interagiert mit seinem Umfeld
6. Enthält Ziele und erfüllt einen Zweck

Weitere Einteilungen und Eigenschaften von System sind an dieser Stelle nicht weiter zweckmäßig und zielführend. Diverse Systemklassifikationen können in der Veröffentlichung *What is a System? An Ontological Framework* nachgelesen werden [DS17]. Allgemeine Eigenschaften sind von Beer definiert [Bee62].

Um ein IMS abschließend zu erläutern, müssen letztlich die drei vorliegenden Definitionen von Information, Management und System kombiniert werden. Es handelt sich demnach um ein Management-by-System wie in Kapitel 2.2.2 beschrieben. Das System besteht aus mehreren Modulen, die allesamt in ein Übersystem integriert werden. Weiterhin bestehen zwischen ihnen Relationen. Der damit verbundene Austausch der Flussgröße, in diesem Fall Informationen, wird durch das Management gesteuert. Da das System offen ist, steht es mit seiner Umwelt in einem kontinuierlichen Austausch. Nach außen agiert das System mit den Stakeholdern und den externen Einflüssen. Alle Eingänge verändern einzelne Parameter, sodass das Management bei den ausführenden Prozessen stets Anpassungen vornehmen muss. Aufgrund der Beschränkung auf Informationen als einziger austauschbare Gegenstand über die Systemgrenze, wird diese Form des Management-by-System als Information Management System (IMS) bezeichnet. Die Idee, die hinter einem IMS steckt, ist in Abbildung 2.2 dargestellt.

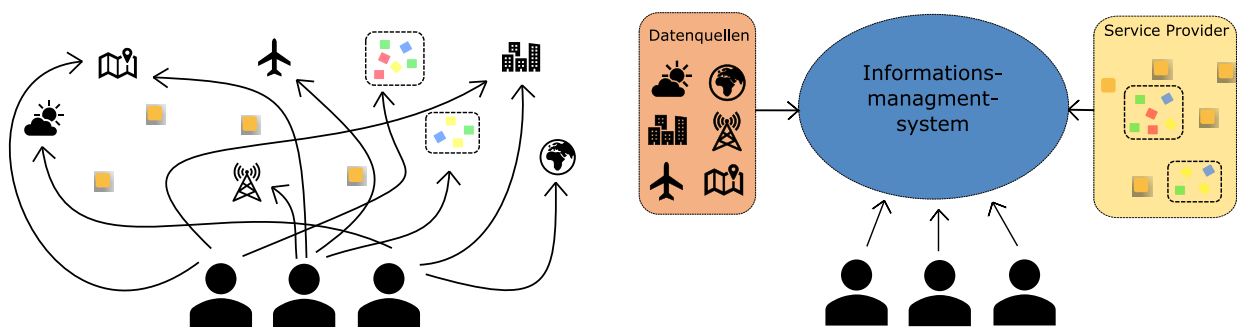


Abbildung 2.2.: Vergleich vom Zugriff der Nutzer auf Services und Informationen ohne und mit einem Informationsmanagementsystem

Auf der linken Seite werden Informationen und Dienstleistungen direkt mit dem Nutzer verknüpft. Anwender der Dienste greifen direkt auf Datenquellen und Services zu. Der Zugriff ist schematisch

jeweils als Pfeil abgebildet. Auf der rechten Seite dagegen werden alle Datenquellen und Services in einem Informationsportal des IMS gespeist. In diesem Portal befinden sich alle Informationen, die ein Nutzer benötigt, um eine Mission ausführen zu können. Nutzer greifen nicht mehr direkt auf eine Datenquelle zu, sondern gelangen über die Schnittstelle des IMS zu ihren benötigten Informationen.

2.2.4 Das System Wide Information Management

Das System Wide Information Management (SWIM) ist ein Konzept zur Implementierung eines IMS für den bemannten Luftraum. Es ist ein Portal, in dem diverse Informationen gesammelt werden. Nutzer und Anwendungen werden mit für sie notwendigen Daten in Echtzeit versorgt. Alle Auskünfte für autorisierte Anfragen werden von Services geliefert. Die ICAO hat in ihrem Manual on System Wide Information Management Concept eine Definition des SWIM veröffentlicht [Int11].

SWIM umfasst Standards, Infrastruktur und Steuerungen, die die Verwaltung von ATM-relevanten Informationen und deren Austausch zwischen qualifizierten Parteien über interoperable Services ermöglichen [Int11].

Das SWIM ist für die Services in einem IMS ein IT Infrastrukturprogramm [Usm10].

SWIM ist eine	SWIM ist kein
<ul style="list-style-type: none"> • mögliche SOA-Implementierung in das NAS • Möglichkeit für die FAA System-Schnittstellen schneller und günstiger umzusetzen • Erhöhung des notwendigen Datenaustausches für NextGen 	<ul style="list-style-type: none"> • Set von Avionik-Einrichtungen • Ersatz für ein NAS Modernisierungsprogramm • Telekommunikations-Programm

Tabelle 2.2.: SWIM Definition nach [Usm10]

Nutzer sollen innerhalb des SWIMs gezielt auf Informationen zugreifen können. Services sind in der Art konzipiert, dass sie einzelne Informationsaufträge haben und ihre Informationen separieren. Im System sind die Komponenten lose gekoppelt. Dadurch hat ein Informationsanbieter wenig Einfluss auf einen Informationsnutzer. Dies bewirkt eine Unabhängigkeit und eine unkomplizierte Schnittstelle untereinander. In diesem Zusammenhang wird der Begriff der semantischen Interoperabilität verwendet.

Semantischen Interoperabilität beschreibt die exakte Bedeutung von ausgetauschten Informationen, die von allen Beteiligten verstanden wird [Wil17].

Das Ziel ist eine Kompatibilität durch eine Standardisierung der Services zu erreichen. Für die Schnittstelle zu anderen Systemen, die nicht auf SOA beruhen, werden Brücken in Form von Gate-

ways benötigt. Dadurch wird der Zugang zu weiteren Nutzern und Stakeholdern ermöglicht.

Durch die Einführung eines IMS für den Luftverkehr werden mehrere Verbesserungen angestrebt. Während, vor und nach den Flugphasen oder einer Mission sollen die Entscheidungsfindungen der Stakeholder verbessert werden. Erreicht wird dieses Ziel durch das erhöhte Situationsbewusstsein (engl. Situational Awareness) und der verbesserten Verfügbarkeit und Qualität von Daten und Informationen. Neben einer erhöhten System-Performance wird durch die Anwendung der SOA die Kommunikation zwischen den Anwendungen flexibler und kosteneffizienter [Int11][PG17]. Weitere Beschreibungen zum SWIM befinden sich im ATM Information Reference Model Primer (AIRM) und im SESAR Factsheet zum Information Service Reference Model (ISRM) [Wil17][Ste15].

2.3 Unmanned Aerial System

Seit der ansteigenden Nutzung und der größeren Vielfalt der Drohnen auf dem Markt entstehen durchgehend neue Abkürzungen, um diese Systeme zu beschreiben. Mit diesem Kapitel wird ein Überblick über die Begriffe *Unmanned Aerial System*, *Remotely Piloted Aircraft System* und weitere Begriffe geschaffen. Ein Unmanned Aerial System ist ein Luftfahrzeug ohne einen Piloten in Form eines Menschen On-Board. Bereits 2008 definiert die FAA den Begriff Unmanned Aircraft (UA):

Ein UA ist ein Fluggerät, das für den Flug in der Luft ohne Bordpilot verwendet wird oder verwendet werden soll. Dies umfasst alle Klassen von Flugzeugen, Hubschraubern und Luftschiffen, die keinen an Bord befindlichen Piloten haben. Unter unbemannten Luftfahrzeugen werden nur solche Luftfahrzeuge verstanden, die in drei Achsen steuerbar sind und schließen daher traditionelle Ballons aus [Dav08].

Parallel dazu hat 2009 die EASA eine Definition zu einem UAS herausgebracht:

Ein unbemanntes Luftfahrzeugsystem (engl. Unmanned Aerial System, **UAS**) umfasst einzelne Systemelemente, die aus einem unbemannten Luftfahrzeug, der Kontrollstation und allen anderen für den Flug erforderlichen Systemelementen bestehen, zu denen Kommunikationsverbindungen und Start- und Landeelemente zählen. Es können mehrere Kontrollstationen, Kommunikationsschnittstellen sowie Start- und Landeelemente zu einem UAS zugeordnet werden [Eur09].

Im Alltag werden die Begriffe UAS und UAV häufig gleichgesetzt. Erst bei systemspezifischen Aspekten für Regularien hat UAS Vorrang [DPV09]. In dieser Arbeit wird deshalb zukünftig von UAS gesprochen. Zusätzlich kann dieses System weiter untergliedert werden. Je nach Automatisierungsgrad wird das UAS autonom oder per Remote Pilot am Boden gesteuert. In diesem Zusammenhang hat Bruce Clough bereits 2002 eine Skala eingeführt, um den Automatisierungsgrad (ACL) von UAS zu bestimmen.

ACL	Leveldiskriptor
0	Remotely Piloted Vehicle (RPV)
1	Ausführung vorgeplanter Missionen
2	Änderbare Missionen
3	Robuste Reaktionen zu Echtzeitevents
4	Fehler-/Event-anpassungsfähiges Luftfahrzeug
5	Echtzeit-Koordination von mehreren Luftfahrzeugen
6	Echtzeit-Kooperation von mehreren Luftfahrzeugen
7	Kenntnis über Einsatzraum
8	Autorisierung über Einsatzraum
9	Schwarm-Befugnis über Einsatzraum
10	Vollständig autonom

Tabelle 2.3.: Autonomous Control Levels nach Clough [Clo02]

Für den Fall des ACL 10, demnach eine vollständige Automatisierung der Operation, gibt es keinen Piloten im eigentlichen Sinne. Diese Aufgabe wird digital von einem Algorithmus übernommen und der Mensch hat keinen direkten Einfluss mehr auf das UAS. Für den Fall ACL 0 wird die Drohne durch einen Remote Pilot am Boden gesteuert. Ein Remotely Piloted Aircraft System (RPAS) besteht nach der Eurocontrol aus einem Remotely Piloted Aircraft (RPA), einer Remote Pilot Station (RPS) und einem Command And Control Link (C2) [Eura].

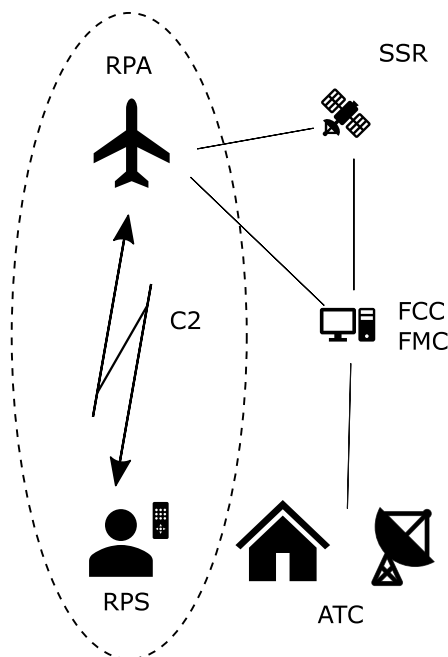


Abbildung 2.3.: Remotely Piloted Aircraft System

Schematisch wird ein RPAS in der gestrichelten Umkreisung in Abbildung 2.3 gezeigt. Das RPA ist das Luftfahrzeug, welches es zu steuern gilt. Es ist sehr allgemein gehalten und kann letztlich jede Flugkonfiguration besitzen. Das heißt, es kann eine kleine Drohne mit Massen $m \leq 1$ kg sein, bis hin zu großen zivilen Passagiermaschinen. In diesem Fall würde sich das RPA vom üblichen Flugzeug im Cockpit unterscheiden, da ein RPA nicht On-Board gesteuert wird. Für die Steuerung gibt es eine RPS. Sie befindet sich außerhalb des Flugobjektes und wird von einem Remote Pilot (RP) genutzt,

um das RPA zu überwachen und steuern. Eine RPS kann eine ein kleiner Controller sein, bis hin zu einer stationären Station. Verbunden sind das RPA und das RPS durch einen Command And Control Link (C2). Dieser kann direkt (RLOS) oder indirekt sein (BRLOS).

Radio Line-Of-Sight (RLOS) bedeutet die direkte Verbindung zwischen Transmitter und Receiver mittels einer korrelativen Radiofrequenz. **Beyond Radio Line-Of-Sight** (BRLOS) beschreibt die Situation, wenn Transmitter und Receiver nicht direkt miteinander verbunden sind und stattdessen einen Vermittler in Form eines Satelliten-Systems oder bodenbasierten Netzwerk nutzen [Eura].

Einzig das RPA, das RPS und der C2 bilden das RPAS. Für den Fall des BRLOS sind zusätzliche Systemteilnehmer notwendig. Auf der rechten Seite außerhalb der gestrichelten Umkreisung der Abbildung 2.3 sind ergänzende Systemelemente schematisch dargestellt. Einerseits können für Überwachung und Kommunikation bodenbasierte Netzwerke genutzt werden, hier dargestellt als ATC. In diesem Fall wird die Verbindung Controller/Pilot Data Link Communciation (CPDLC) genannt. Weiterhin kann ein Secondary Surveillance Radar System (SSR), hier als Satellit gezeigt, zur Verbesserung der Kommunikation genutzt werden. Ein zusätzlicher Rechner im Sinne eines Flight Control Computer (FCC) oder eines Flight Management System (FMS) unterstützen die Aufgaben des Piloten.

2.3.1 Klassifizierung der Drohnen

Neben der Einteilung nach dem ACL, können UAS zusätzlich nach Masse, Reichweite, Flughöhe oder Flugdauer eingeteilt werden. Auf der Avionics Conference 2006 in Amsterdam, Niederlande, hat Peter van Blyenburgh eine solche Einteilung präsentiert. Da der militärische Nutzen für UAS bisher überwogen hat, sind viele Definitionen von militärischen Zielen und Nutzen abgeleitet [VV15].

Akronym	Bezeichnung	Masse in kg	Reichweite in km	Flughöhe in m	Flugdauer in h
-	Micro	≤ 5	≤ 10	250	1
-	Mini	≤ 20 – 150	≤ 10	150/250/300	≤ 2
Taktisch					
CR	Close Range	25-150	10-30	3000	2-4
SR	Short Range	50-250	30-70	3000	3-6
MR	Medium Range	150-500	70-200	5000	6-10
MRE	Medium Range Endurance	500-1500	≥ 500	8000	10-18
LADP	Low Altitude De- ep Penetration	250-2500	≥ 250	50-9000	≤ 1
LALE	Low Altitude Long Endurance	15-25	≥ 500	3000	≥ 24
MALE	Medium Altitu- de Long Endu- rance	1000-1500	≥ 500	3000	24-48
Strategisch					
HALE	High Altitude Long Endurance	2500-5000	≥ 2000	20000	24-48
Strato	Stratosphärisch	≥ 2500	≥ 2000	≥ 20000	≥ 48
EXO	Exo- stratosphärisch	-	-	≥ 30500	-
Besondere					
UCAV	Unmanned Combat AV	≥ 1000	1500	12000	2
LET	Lethal	-	300	4000	3-4
DEC	Decoy	150-250	0-500	50-5000	≤ 4

Tabelle 2.4.: UAS Kategorisierung nach van Blyenburgh [van06]

Mirco- und Mini-UAS sind für sehr kurze Flugdauern ausgelegt und ermöglichen diverse Anwendungen. Zudem ist in Tabelle 2.4 eine Einteilung nach dem Verwendungszweck zu erkennen. Der Verwendungszweck ist durch die Absatzüberschriften *Taktisch*, *Strategisch* und *Besondere* gekennzeichnet. Die Einteilung zwischen *Taktisch* und *Strategisch* basiert auf den Reichweiten und Flughöhen der UAS. Taktische Drohnen haben geringere Reichweiten und werden für unterschiedliche private, militärische und staatliche Missionen genutzt. Strategische UAS sind größere Luftfahrzeuge, operieren in höheren Lufträumen und werden meist für Aufklärung und militärische Zwecke genutzt. Unter besonderen UAS werden Luftfahrzeuge verstanden, die für einen bestimmten Zweck konstruiert sind und eine bestimmte Mission ausführen [van06].

Eine weitere Einteilung nach der Masse, beziehungsweise nach der Maximum Take-Off Mass (MTOM), ist aus Sicherheitsaspekten sinnvoll. Mit der Masse steigt die kinetische Energie. Je höher die kinetische Energie ist, desto höher ist das Risiko bei einem Absturz, am Boden Schaden anzurichten. In diesem Zusammenhang ist der Parameter T_{GI} eingeführt, der die Zeit zwischen einem unerwünschten Ereignis in der Luft bestimmt. Ein unerwünschtes Ereignis kann eine Mid-Air Kollision sein, bei der zwei Verkehrsteilnehmer im Luftraum zusammenstoßen. Für zunehmende Massen nimmt die Zeit T_{GI} , durch die die Wahrscheinlichkeit eines Zusammenpralls akzeptabel ist,

potentiell zu. Bei kleineren UAVs sind höhere Wahrscheinlichkeiten für eine Kollision zugelassen, da aufgrund ihrer Masse gegenüber größeren UAV der Schaden an Menschen und Maschine geringer ausfällt [WH04][DPV09].

Weitere Einteilungen finden zumeist nach Reichweite, Flughöhe und den damit genutzten Luftraum oder nach feineren oder gröberen Aufteilungen der Massen statt. Siehe dazu den Final Report der Industrieanlagen-Betriebsgesellschaft mbH (IABG) [Ind01] oder die Einteilung der Joint Air Power Competence Centre [Joi10], die Masseneinteilung separiert in Klassen vornehmen. Eine Einteilung nach dem genutzten Luftraum oder allgemeiner nach der üblichen Flughöhe ist für diese Arbeit weniger vorteilhaft, da ausschließlich der Luftraum bis 500 ft Above Ground Level (AGL) betrachtet wird.

Ein weiteres wesentliche Merkmal, durch das verschiedene AVs unterschieden werden können, ist die Art ihrer Starts und Landungen. In der bemannten Luftfahrt werden üblicherweise Start und Landebahnen benötigt, auf denen ein Flugzeug beschleunigen oder verzögern kann, um die erforderliche Geschwindigkeit für den Auftrieb zu erreichen. Diese Fälle werden als konventionelle Starts und Landungen bezeichnet (engl. Conventional Take-Off and Landing, CTOL). Falls die Systemarchitektur der UAVs dementsprechend ausgelegt ist, können Start- und Landebahnen wesentlich kürzer ausfallen (engl. Short Take-Off and Landing, STOL). Durch vertikal angeordnete Antriebe werden vertikale Starts und Landungen ermöglicht (engl. Vertical Take-Off and Landing, VTOL). Bekannte Vertreter des VTOL sind Hubschrauber [KM04].

STOL bezeichnet die Eigenschaft von AVs, die im Vergleich zu herkömmlichen Flugzeugen, auf kurzen Strecken starten und landen können. **VTOL** bezeichnet die Eigenschaft eines AVs vertikal landen und starten zu können [KM04].

Diese Beispiele zur Unterscheidung von UAVs zeigen auf, welche verschiedene Systemarchitekturen ein derartiges Flugobjekt haben kann. UAVs decken ein breites Feld diverser Konfigurationen, Massen und Größen für Flugobjekte ab.

2.3.2 Einteilung und Kategorisierung in Deutschland

Für die Regelungen und Klassifizierungen innerhalb Deutschlands ist das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) zuständig. Im März 2018 ist vom BMVI eine Drohnenverordnung veröffentlicht [Bun18]. In dieser Verordnung werden Drohnen nach ihren Massen eingeteilt. In Tabelle 2.5 ist ein Überblick dargestellt.

Masse	Benennung	Erklärung
$m \geq 0,25 \text{ kg}$	Kennzeichnungspflicht	Eine kleine Plakette identifiziert den Halter → äquivalent zum Nummernschild eines Autos im Straßenverkehr
$m \geq 2 \text{ kg}$	Kenntnisnachweis	Der Pilot muss zusätzlich seine Fähigkeiten an geeigneter Stelle nachweisen (Luftfahrt-Bundesamt/Luftsportverband) → äquivalent zum Führerschein
$m \geq 5 \text{ kg}$	Erlaubnispflicht	Für den Aufstieg wird zusätzlich eine Erlaubnis von einer Landesluftfahrtbehörde benötigt → äquivalent zum TÜV eines Autos

Tabelle 2.5.: Drohneneinteilung in Deutschland, Stand März'18 [Bun18]

Für diese Regelung innerhalb Deutschlands gilt zusätzlich:

- Bemannte Luftfahrt hat Vorrang
- Begrenzung bei einer Flughöhe von 100 m
- Fliegen über Wohngrundstücken ist verboten
- Fliegen nur in Sichtweite (VLOS)

Durch die Begrenzung der Flughöhe auf 100m AGL ist die Einsatzumgebung im Normalfall im Luftraum G. Üblicherweise wird der Luftraum G ab einer Höhe von 1000ft ($\cong 300 \text{ m}$) über 1700ft ($\cong 520 \text{ m}$) bis 2500ft ($\cong 760 \text{ m}$) eingeteilt. Die Staffelung erfolgt aufgrund der Entfernung zu einer Kontrollzone. Alle Höhenangaben basieren auf AGL. In Anhang C ist die deutsche Luftraumstruktur abgebildet. Üblicherweise gelten Visual Flight Rules (VFR) [DFS18].

Visual Line-of-Sight (VLOS) bedeutet die Ausführung von Flugoperationen und -missionen basierend auf einem direkten visuellen Kontakt zum Fluggerät. Der Pilot hat sein Umfeld und sein Flugobjekt stets in Blickkontakt [Mir18]. Weiterhin besteht die Option des **Beyond Visual Line-of-Sight (BVLOS)**, bei dem der Pilot durch Hilfsmaßnahmen - eine weitere in Funkkontakt stehende Person oder durch elektronische Unterstützung - für den Betrieb angewiesen ist. Einen direkten Sichtkontakt zum Flugobjekt und dessen unmittelbare Umgebung besteht nicht.

Analog sind bereits RLOS und BRLOS bestimmt. Ab einer Flughöhe von 100m müssen eine Erlaubnispflicht und ein Kenntnisnachweis unabhängig von der Flugmasse eingeholt werden. Die Drohnenverordnung der BMVI ist graphisch im Anhang D abgebildet. Neben den nationalen Vorschriften müssen die Regularien der EU eingehalten werden.

2.3.3 EU-Regularien

Bisher haben die Staaten der EU eigene und nur national geltende Regularien und Vorschriften verfasst. Ein einheitliches Gesetz, das den Umgang von Drohnen bestimmt, existiert in 2018 nicht. Aus diesem Grund soll 2019 ein neues internationales EU-Drohngesetz von der EU-Kommission der EASA verabschiedet werden. Zu diesem Zeitpunkt existieren lediglich Vorschläge und Konzepte, die eine Orientierung geben, wie zukünftig die rechtliche Lage der Drohnen in Europa aussehen wird [Mar18]. Dafür stellt Eurocontrol auf Vorschlag der European Union Aviation Safety Agency (EASA) drei Anwendungsszenarien vor [Eura].

- Open
Geringes Risiko: Es bedarf keine Autorisierung oder Überwachung
- Specific
Erhöhtes Risiko: UAS Operator benötigen eine Autorisierung
- Certified
Behördliche Verwaltung: UAS muss zertifiziert sein

Einteilungen dieser Art sagen bisher nichts über die Größen und Einsatzgebiete aus. Deshalb sind zusätzlich fünf Klassen definiert, die in Tabelle 2.6 gezeigt sind.

Subkategorie	Klasse	MTOM	Registrierung	Anmerkung
A1	C0	$\leq 0,25\text{ kg}$	nein	Behandlung als Spielzeuge
	C1	$\leq 0,9\text{ kg}$	ja	Reserviert für RPAS (VLOS)
A2	C2	$\leq 4\text{ kg}$	ja	<i>Open</i> oder <i>Specific</i> (VLOS und BVLOS)
A3	C3	$\leq 25\text{ kg}$	ja	Medium/Long Haul Traffic (BVLOS)
	C4		ja	Spezielle Operationen

Tabelle 2.6.: Klasseneinteilung der EU nach EASA [Mar18]

Die Einteilung der Subkategorie A1, A2 und A3 bildet das Einsatzgebiet ab. In der Subkategorie A1 kann in urbanen Gebieten operiert werden. In A2 kann nur in der Nähe einer Person oder Gruppe geflogen werden. Mit der Kategorie A3 sind Operationen über Personen untersagt. Informationen zu den Klassen können entweder dem RPAS ATM CONOPS der Eurocontrol entnommen werden, oder dem New Regulatory Framework for UAS der EASA.

Abschließend wird in Abbildung 2.4 ein Überblick über die diversen Akteure für Regulierungsaktivitäten auf nationaler, internationaler und globaler Ebene gegeben [Udo16].

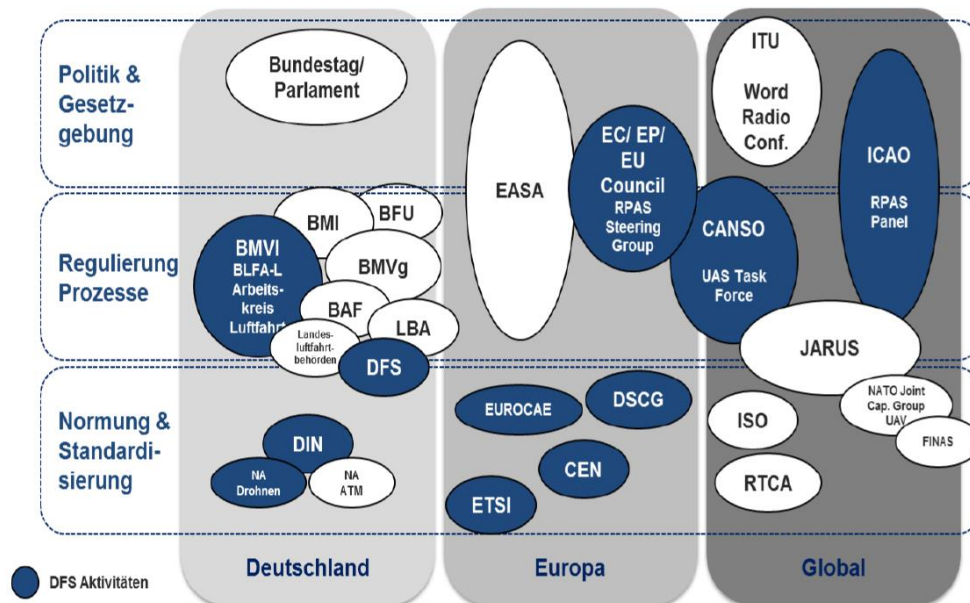


Abbildung 2.4.: Regulationsaktivitäten [Udo16]

Für den europäischen Luftraum ist die EASA für die Gesetzgebung und die Regulierung zuständig. Einschränkungen und Limitationen für die Nutzung von UAS sind bisher nur auf nationaler Ebene konkret festgehalten. Dabei existieren für jeden Staat neue Regulierungen und Gesetze, sodass es bisher keine einheitliche und standardisierte Gesetzesgrundlage gibt [VV15].

2.4 Forschungsvorhaben

Nachfolgend wird ein Überblick über die aktuellen Forschungsvorhaben dargestellt. Es wird das Programm *SESAR* und das Projekt *IMPETUS* in einem Kurzporträt beschrieben. In diesem Zusammenhang wird der U-Space, der in dieser Arbeit behandelte Luftraum, erklärt und umrissen.

2.4.1 SESAR

Die Eurocontrol, im Englischen für European Organisation for the Safety of Air Navigation, ist eine internationale Organisation zur Überwachung und Leitung des europäischen Luftraumes mit Hauptsitz in Brüssel, Belgien [Eur18]. Stand 2018 besteht die Eurocontrol aus 41 europäischen Mitgliederstaaten mit dem Ziel, den europäischen Luftraum sicherer, effizienter, ökologischer und standardisierter zu gestalten. Für diese Absicht ist seit 2004 das Programm Single European Sky ATM Research Programme (SESAR) gestartet. Das SESAR ist ein von der Eurocontrol initiiertes Programm, das sich mit der Strukturierung und Vereinheitlichung des europäischen Luftraumes und dessen Management befasst. Seit 2007 ist es in das SESAR Joint Undertaking (SJU) umbenannt. SESAR JU unterstützt den Single European Sky (SES): Homogenisierung, Optimierung und Standardisierung des bisher national unterteilten Luftraum Europas. Die Ziele des SES sind [SES18b]

- Erhöhung der Kapazität um den Faktor 3
- Erhöhung der Sicherheit um den Faktor 10
- Reduzierung des Einflusses auf die Umwelt um 10 %
- Reduzierung der Kosten der ATM Services um mindestens 50 %

Dabei soll das SESAR untersuchen und erforschen, wie die ATM Leistungsfähigkeit erhöht werden kann. Eine Möglichkeit zur Realisierung der Ziele ist ein intelligentes europäisches Air Transport System (ATS). Das SESAR ist dafür in drei Entwicklungsphasen eingeteilt.

Zeitraumen	Phase	Kurzbeschreibung
2005-2007	Definitionsphase	Erstellung eines Masterplans Definieren von Anforderungen
2008-2013	Entwicklungsphase	Skizzieren von Handlungsmaßnahmen Entwerfen gesetzlicher Bestimmungen und Normen Sicherstellen der Interoperabilität mit anderen Systemen
2014-2020	Umsetzungsphase	Umsetzen der entschiedenen Maßnahmen Beschaffung der dafür notwendigen Infrastruktur

Tabelle 2.7.: SEASR unterteilt in Entwicklungsphasen in Anlehnung an [SES18b]

Eines der Schlüsselkonzepte bei den genannten Zielen, ist die Implementierung eines universalen und geteilten Datenpool, der allen Akteuren eine gesicherte Verbindung zu Daten erlaubt. Eines dieser systemweiten Datenpools ist das SWIM, welches bereits in Kapitel 2.2.4 erläutert ist. Für die Integration von Drohnen in den geteilten Luftraum hat SESAR den U-Space definiert, der in Kapitel 2.4.2 erklärt wird.

2.4.2 U-Space

Der Begriff U-Space wird vom SJU definiert und beschrieben. Im European ATM Master Plan lautet die Definition des SJU wie folgt:

U-Space ist eine Reihe neuer Dienste, die sich auf ein hohes Maß an Digitalisierung und auf einen sicheren und effizienten automatisierten Zugang zu Funktionen und Prozeduren stützen, die den Luftraum für eine hohe Anzahl an Drohnen-Aufkommen unterstützen soll. Als solcher ist der U-Space ein Rahmenwerk, der entwickelt wurde, um jede Art von Routineeinsätzen in allen Klassen von Lufträumen und allen Arten von Umgebungen zu ermöglichen. Währenddessen soll eine angemessene Schnittstelle zur bemannten Luftfahrt und der Flugsicherungen gewährleistet werden [Gui].

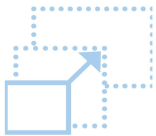
Genannte Dienste sollen eine Service-Umgebung für die sichere Integration von UAS in den Luftraum bereitstellen. Zu diesem Zweck sind acht Key Principles definiert [Bul17].



Gewährleistung von Sicherheit aller Nutzer im U-Space - ebenso der Öffentlichkeit am Boden



Ermöglichen eines dichten Operationsaufkommen durch ein hohes Maß an Automatisierung



Bereitstellen eines skalierbaren, flexiblen und adaptiven System, welches auf Nachfrage, Volumen, Technik, Business Modell und Anwendungen reagieren kann



Garantieren eines angemessenen und fairen Zugangs zum Luftraum für alle Nutzer



Realisieren einer kompetitiven und kosteneffizienten Service-Versorgung



Reduzierung von Entwicklungs- und Operationskosten



Beschleunigen der Entwicklung durch Adaptieren von Technologien mit U-Space-Schnittstellen



Verfolgen einer Risiko- und Performancebewertung zur Reduzierung des Einflusses auf die Umwelt und Beachtung der Privatsphäre

Abbildung 2.5.: Die Key Principles des U-Space nach dem U-Space Blueprint [Bul17]

Die Dienste sollen sowohl im privaten, wie im öffentlichen Sektor in Anspruch genommen werden. Alle Services des U-Space basieren auf EU Standards. Sie bilden nicht die Funktionen eines

üblichen ATCs nach. Nichtsdestotrotz müssen alle Implementierungen mit der sicheren und effizienten Integration mit der bisher bekannten bemannten Luftfahrt konform sein. Diese Schnittstelle bedeutet den Austausch von Daten zur Flugplanung, Kapazitäten im Luftraum und Weitere. Mit Stand 2017 sind auf nationaler Ebene drei *foundation services* aktiv. Dazu zählen die elektronische Registrierung (e-registration), die elektronische Identifizierung (e-identification) und das Geofencing - ein Kunstwort auf *geographic* und *fence*. Die drei Services werden für den deutschen Luftraum von der DFS angeboten [Uni]. Mit der Registrierung wird die UAS in eine Datenbank aufgenommen und einem Operator zugeordnet und somit im System angemeldet. Eine Ausnahme machen UAS mit einer Masse unter 250 g, da diese nicht gemeldet werden müssen. Die Identifikation dient der Abfrage UAS-spezifischen Informationen während eines Fluges. Schließlich soll mit dem Geofencing eine speziell aufgelöste Karte der geographischen Umgebung den Nutzern bereitgestellt werden. In dieser virtuellen Landschaft ist nicht nur die geographische Position und Lage der Objekte in der Umwelt abgebildet, sondern zusätzlich können No-Drone Zones (NDZ) und Limited-Drone Zones (LDZ) angezeigt werden. Diese drei Services sind von der Deutschen Flugsicherung (DFS) umgesetzt und in einer App für die Nutzer zugänglich gemacht. In Abbildung 2.6 ist ein Screenshot aus Anwendersicht für den Standort Langen, Hessen der DFS DrohnenApp dargestellt.

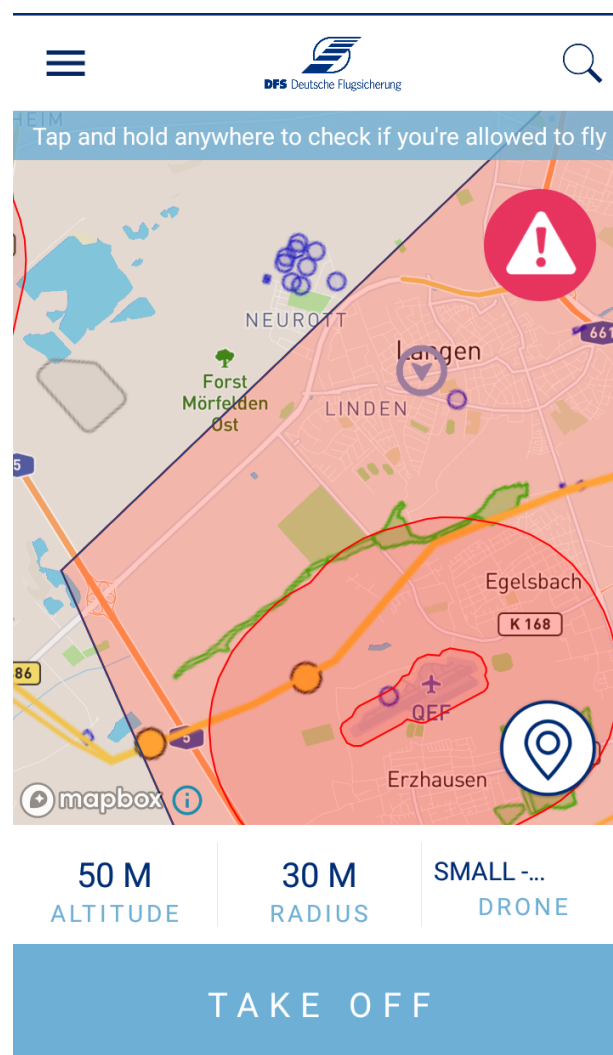


Abbildung 2.6.: Screenshot der DrohnenApp der DFS

Blaue Kreise zeigen Gebiete, in denen das Fliegen einer UAS nicht gestattet ist. Gründe dafür können bestimmte infrastrukturellen Hindernisse, geblockte Zonen aufgrund Privatsphäre oder Ähnlichem sein. Eine rote größere Markierung zeigt die NDZ um den Flugplatz in Egelsbach, Hessen, der für den bemannten Luftverkehr reserviert ist [Uni]. Insgesamt werden die Services in vier Phasen ausgerollt. Mit zunehmender Anzahl der Services soll das Maß der Automatisierung steigen.

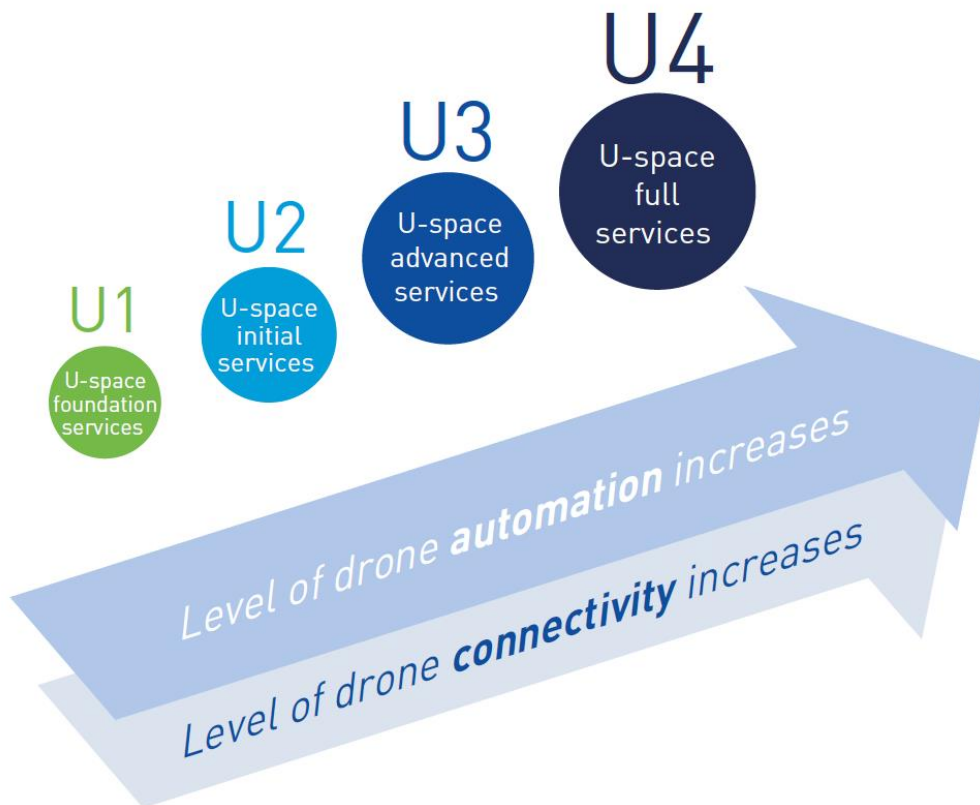


Abbildung 2.7.: Implementierung der U-Services [Bul17]

Mit den genannten Diensten *e-registration*, *e-identification* und *Geofencing* soll die Phase U1 *foundation services* auf europäischer Ebene bis 2021 abgeschlossen werden. In der Phase U2 soll das Management der Operationen unterstützt werden. Dazu zählen die Flugplanung, -genehmigung und das Tracking der UAS. Weiterhin soll eine Schnittstelle mit dem ATC der bemannten Luftfahrt aufgebaut werden. U2 soll ab 2022 starten. Mit der Phase U3 *advanced services* wird mit Hinblick auf die zu erwartende steigende Anzahl von Verkehrsteilnehmern eine Unterstützung des Kapazitätenmanagement und ein automatisiertes Detect and Avoid (DAA) zu den Services ab 2027 hinzugefügt. Im Jahr 2035+ soll mit der Phase U4 *full services* die vollständige Integration der UAS in den Luftraum abgeschlossen werden. Diese zeichnet sich durch das hohe Maß an automatisierten Abläufen, Konnektivität und Digitalisierung des U-Space Systems aus. Der gesamte U-Space wird nur für Nutzer bis zu einer Flughöhe bis 500 ft zur Verfügung stehen [Bul17][Eurb].

2.4.3 IMPETUS

IMPETUS steht für Information Management Portal to Enable the Integration of Unmanned Systems und ist auf den Zeitraum von Oktober 2017 bis September 2019 angesetzt. Die Aufgabe des IMPETUS ist die Analyse eines Informationsmanagement für Drohnenoperationen. Es wird nach einer technischen Lösung gesucht, um den U-Space für niedrigere Lufträume für verschiedene Geschäftsmodelle zugänglich zu machen. Im Englischen werden diese Lufträume Very Low-Level (VLL) Airspace genannt. Für diesen Luftraum werden Services bereitgestellt. Nutzer des Luftraumes können über einen Zugang über ein universales Informationsportal auf die für ihre Operationen notwendigen Informationen zugreifen [SES18a]. Bisher sind in den Drone Information Users' Requirements mit der Deliverable ID D2.1 Anforderungen an das Portal beschrieben. Zusätzlich sind diverse Use Cases mit den zugehörigen notwendigen Schnittstellen beschrieben [BJS⁺18].

2.4.4 Use Cases und Einsatzumgebungen

In den Drone Information Users' Requirements sind vom IMPETUS alle erforderlichen Informationen und Anforderungen für die Missionsausführungen innerhalb des U-Spaces zusammengetragen. Alle Daten sind in Use Cases aufbereitet. Zu den bereits beschriebenen Use Case gehören sechs Anwendungen [BJS⁺18].

- Navigieren und Überwachung automatisierter Landwirtschaft
- Inspektion von Infrastruktur
- Maritime Grenzkontrolle
- SAR Operationen
- Depot-to-Depot Paketversand
- Depot-to-Consumer Paketversand

Bisher nicht berücksichtigt sind private Stakeholder, die einen persönlichen Zweck verfolgen. Dazu gehören Aktivitäten wie Fotografie sowie Verfilmung, Sportdrohnen oder weitere Aktivitäten, bei denen Drohnen zum Einsatz kommen.

2.4.5 Stakeholder

Als ein Stakeholder wird im Deutschen etwa ein Anspruchsberechtigter oder ein Interessenvertreter bezeichnet [dic]. Es handelt sich um eine Gruppe oder eine einzelne Person, die ein Interesse, eine Erwartung oder einen Nutzen von einem System hat oder erwartet. Ein Stakeholder agiert und reagiert auf ein System. Bei umfassenderen Systemen, bei denen viele Akteure einen Einfluss ausüben, wird häufig eine Stakeholderanalyse im Voraus durchgeführt, um Stakeholder frühzeitig zu identifizieren und bei der Entwicklungsphase eines Systems zu berücksichtigen [KA08].

In den Drone Information Users' Requirements D2.1 sind im Rahmen des IMPETUS-Programm bereits 2018 neun Stakeholder für das behandelte System identifiziert und beschrieben [BJS⁺18].

- UAS Piloten
- UAS Besitzer
- UAS Hersteller
- Air Traffic Management
- U-Space Service Provider
- Öffentliche Institutionen
- Betreiber
- Bemannte Luftfahrt
- Gesellschaft und Öffentlichkeit

Da mit den Indikatoren die Leistungsfähigkeit des IMS bestimmt werden soll, werden die Kenngrößen und Erkenntnisse aus den Untersuchungen aus Sicht der Forschung und nicht aus Sicht der Akteure im U-Space identifiziert und ermittelt.

2.5 Auslegung der Kenngrößen zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit

Kenngrößen sind Indikatoren, die einen Zustand oder eine Beurteilung eines spezifischen Sachverhaltes eines Systems wiedergeben. In diesem Kapitel wird auf die Auslegung der Kenngrößen, die in dieser Arbeit benötigt werden, eingegangen und von anderen Indikatoren differenziert. Das Vorgehen zur Identifizierung der behandelten Indikatoren beruht auf dem KPI Karta von unilytics. In Abbildung 2.8 wird das Verfahren zur Identifizierung von KPIs in Form einer Sanduhr dargestellt [uni16].

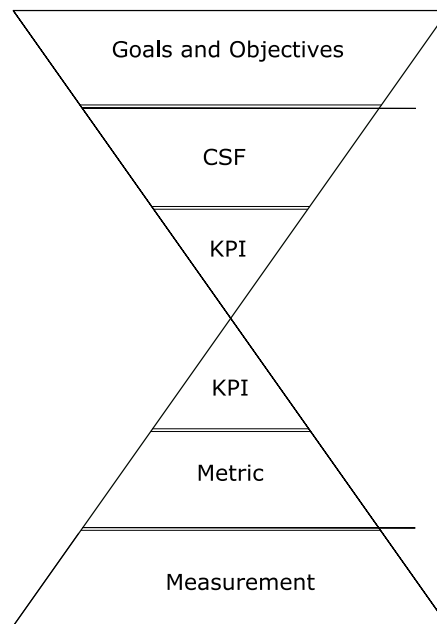


Abbildung 2.8.: Einflussfaktoren eines KPIs nach unilytics [uni16]

Die Sanduhr zeigt die Einflussfaktoren für die Identifizierung eines Key Performance Indicators (KPI) auf. Für die Bestimmung eines KPIs wird auf der einen Seite ein ökonomischer Ansatz verfolgt, der durch die obere Hälfte der Sanduhr dargestellt ist. Dieser Ansatz besteht aus den Goals & Objectives und den kritischen Erfolgsfaktoren (engl. Critical Success Factor, CSF), die in Kapitel 2.5.1 definiert werden. Auf der anderen Seite wird ein technischer Ansatz verfolgt, der aus Messungen (engl. Measurement) und Metriken (engl. Metrics) besteht und die untere Hälfte der Sanduhr bildet. Die Begriffe *Metrik* und *Messung* werden in Kapitel 2.5.2 definiert. Aus der Betrachtung der ökonomischen und technischen Aspekte des betrachteten Teilsystems wird anhand der CSF und der Metriken ein KPI bestimmt. Der Begriff KPI wird in Kapitel 2.5.3 definiert und von anderen Kenngrößen abgegrenzt.

Das Vorgehen wird in Kapitel 3 erneut aufgegriffen und ist Bestandteil der Methode, die in dieser Arbeit genutzt wird, um Indikatoren zu identifizieren. Alle Indikatoren, die durch das KPI Karta bestimmt werden, beziehen sich auf das IMS für den unteren unbemannten Luftraum.



2.5.1 Kritische Erfolgsfaktoren

Eine der bekanntesten und am meisten referierte Definition eines Kritischen Erfolgsfaktors (engl. Critical Success Factor, CSF) stammt von Bullen und Rockart des Massachusetts Institute of Technology, Cambridge aus dem Jahr 1981 [BR81].

CSF sind eine limitierte Anzahl von Bereichen und Arbeitsgebieten, in denen zufriedenstellende Ergebnisse eine erfolgreiche Wettbewerbsfähigkeit für eine Organisation implizieren. Für den Erfolg einer Unternehmung müssen deshalb in den Schlüsselgebieten die Abläufe wie geplant funktionieren, sodass die Zielsetzungen des Managements erfüllt werden [BR81].

Eine Zielsetzung (engl. Goal) ist eine definierten Zielerreichung, die zu einer bestimmten Zeit erreicht sein soll. Goals sind somit operative Transformationen eines oder mehreren Objectives. Objectives sind allgemeine Aussagen über die Richtungen eines Unternehmens. Sie besitzen keine Aussagekraft über die genaue Zielrichtung oder vorgegebene Zeitpunkte. Durch die Bestimmung von CSF wird die Frage beantwortet, welche Informationen für das Erreichen einer Zielsetzung notwendig sind. Anhand des Einflusses von CSF auf die Goals & Objectives kann das Management seine Aktivitäten für zukünftige Vorhaben planen und ausrichten. Die Bestimmung von CSF erleichtert die Arbeit von Führungsebenen in Planungsprozessen. Mittels einer einheitlichen Definition von CSF wird die Kommunikation innerhalb eines Unternehmens wesentlich verbessert. Eine präzise Bestimmung der CSF ist ebenso wichtig wie die Aufstellung von Goals & Objectives. Letztlich sollten die CSF kontinuierlich vom Management überwacht werden [EN92].

Nach Bullen und Rockart werden CSF von insgesamt fünf Faktoren beeinflusst.

Einfluss	Beschreibung
1. Branche	Jedes industrielle Umfeld weist eigene charakteristische Erfolgsfaktoren auf
2. Wettbewerbsstrategie	Die Position im Markt bestimmt unter anderem die Wettbewerbsstrategie
3. Umfeld	Politik und Konjunktur sind äußere Einflüsse, auf die wenig Einfluss genommen werden kann
4. Temporäre Funktionen	Innerhalb eines bestimmten Zeitraumes können Ausnahmesituationen von Bedeutung sein
5. Managementposition	Jede inhaltliche Ausrichtung eines Managements kann eine eigene Charakteristik für die CSFs bedeuten

Tabelle 2.8.: Einflussfaktoren auf CSF nach Bullen und Rockart [BR81], Termini nach Krcmar [Krc05]

2.5.2 Metrik

Mit dem Begriff Metrik wird im Allgemeinen eine Standardisierung verstanden. Am bekanntesten sind die Metriken der SI-Einheiten - Länge in Meter, Zeit in Sekunden, ... In Bezug auf die Herleitung von Leistungsparametern, die im Kapitel 2.5.3 präsentiert werden, muss der Begriff Metrik feiner

konkretisiert werden. Eine Unterscheidung zu einer Messung ist erforderlich.

Nach der Definition aus dem Merriam-Webster Wörterverzeichnis bedeutet eine Messung (engl. measure) eine Menge oder ein Grad einer Beobachtung [Mer]. Sie kann summiert, gemittelt oder anders beliebig bearbeitet werden. Anders ausgedrückt ist eine Messung ein einheitenspezifischer Ausdruck. Eine Metrik dagegen ist ein Standard einer Messung. Durch Bildung eines Verhältnisses mehrerer Messungen wird dieser Zustand erreicht. Aufgrund der Bildung eines Derivativen hat die Metrik mehr Bedeutung und Aussagekraft für die Zielerreichung [Tay17]. Anhand eines schematischen Vorgehens wird in Tabelle 2.9 der Unterschied zwischen einer Messung und einer Metrik verdeutlicht. Zusätzlich sind die Schritte Observation und Quantifizierung erläutert. Beide Schritte sind vor einer Messung durchzuführen.





Verfahren	Bezeichnung	Beispiel
	Observation	Beobachtung eines Vorgangs
	Quantifizierung	Charakterisieren durch eine Maßeinheit
	Messung	Bestimmung des Betrags/Höhe/Grades der Maßzahl
	Metrik	Herleitung durch Bilden von Derivativen der Messung

Tabelle 2.9.: Unterscheidung von Metrik und Messung nach Savkin [Sav16]

Wichtig bei dieser Darstellung ist es, dass nicht jede Messung zu einer Metrik führt. Erst nachdem alle notwendigen Metriken bestimmt sind, kann ein Ranking im Sinne eines Benchmarks für die Bestimmung der Indikatoren erstellt werden. Die Kenngröße KPI wird im Kapitel 2.5.3 ausführlich erklärt. Analog zum Verhältnis Messung → Metrik bedeutet es nicht zwingend, dass jede Metrik zu einem KPI führt.

2.5.3 Die Kenngröße Key Performance Indicator

Für jedes Vorhaben eines Unternehmens werden Ziele gesetzt. Definierte Ziele können durch Kenngrößen quantitativ charakterisiert werden. Ein Indikator verbindet das Ziel mit einem Erreichungsgrad. Für eine signifikante Aussage eines Indikators ist eine genaue Definition notwendig. Da meist der Begriff eines Key Performance Indicators (KPI), beziehungsweise Performance Indicator (PI), häufig mit anderen Kennzahlen verwechselt wird, ist eine klare Definition und Abgrenzung von KPIs gegenüber anderen Kennzahlen erforderlich [Gol13]. Es existieren zwei Indikatorenprägungen

gen: *result indicators* und *performance indicators*. Die anschließenden Ausführungen basieren auf den von David Parmenter beschriebenen Auslegungen [Par15].

Result Indikatoren (RI) zeigen dem Management, wie gut ein Team zusammen agiert. Sie geben die Messung eines Resultats an. RIs werden als Zusammenfassung aufgefasst, ob ein Unternehmen sich mit der richtigen Geschwindigkeit in die durch die Goals & Objectives festgelegten Zielrichtungen bewegt. Sie umfassen Resultate mehrerer Teams innerhalb eines Unternehmens der letzten Wochen und Monate und werden meist in größeren Abständen beispielsweise vierteljährlich als Quartalszahlen präsentiert. Indikatoren, die eine essentielle Aussagekraft über die Zielerreichungen des Unternehmens haben, werden als Key Result Indicators (KRI) bezeichnet. Das Management kann anhand der KRI beurteilen, wie gut das Unternehmen funktioniert.

Demgegenüber stehen Performance Indikatoren, die im wesentlichen Unterschied zu RIs nicht finanzieller Natur sind. PIs konzentrieren sich auf ein Team oder Teilsystem und betrachten einzelne Aktivitäten. Sie fokussieren spezielle Aspekte eines Unternehmens. Analog zu einem KRI sind die Key Performance Indicators (KPI) definiert. KPIs geben wieder, wie erfolgreich innerhalb der CSF Arbeit verrichtet wird [Par15].

Eine Übersicht der Namensgebung von Indikatoren befindet sich in Abbildung 2.10.

Indikator	Result	Performance
Bedeutung ↓	RI KRI	PI KPI

Tabelle 2.10.: Übersicht der Namensgebungen von Result und Performance Indikatoren

Da in dieser Arbeit ausschließlich Leistungenkennzahlen im Sinne eines PIs oder KPIs betrachtet werden, sind die Eigenschaften eines KPIs nach Parmeter aufgeführt [Par15].

1. nicht-finanziell

Sobald eine Kenngröße durch eine Währung ausdrückbar ist, kann sie kein Performance Indicator sein.

2. zeitlich

Messungen von KPI erfolgen kontinuierlich in zeitnahen Abständen. Zu große Intervalle geben nicht mehr die Möglichkeit, auf die Abläufe kurzfristig zu reagieren.

3. CEO-fokussiert

Eine Führungsposition hat den ständigen Überblick über alle KPI und weiß sie zu handhaben und beurteilen.

4. einfach

Die Herausforderung bei der Definition von KPI besteht in der Einfachheit. Simplizität beugt Missverständnisse vor.

5. teambasierend

KPIs stehen in Verbindung zu Teams, d.h. das bei Nachfragen einzelne Personen interviewt werden können, die für ein Spezifikum zuständig sind.

6. essentiell

KPIs haben auf mindestens einen CSF Einfluss. Erfolg und Misserfolg werden durch KPIs bestimmt.

Die Aufgabe eines PIs besteht in der Ergänzung eines KPIs. Die Aussagekraft eines PIs unterstützt die Bewertung eines KPIs. Von den PIs geht ein Einfluss auf die KPIs aus, allerdings nicht umgekehrt. Performance Indikatoren sind Verhältnisse, d.h. sie stehen in Bezug zu einer anderen Größe [Pet06]. Ein kleines Gedankenbeispiel dazu:

Ein Internetseitenbetreiber, für den die Aufrufe pro Tag ein wichtiger Faktor sind, misst an einem Tag 1.000 Aufrufe. Ohne einen Bezug ist der Wert ohne Aussagekraft. 1.000 Aufrufe können in diesem Fall sowohl ein gutes Ergebnis genauso wie ein schlechtes Ergebnis sein. Wären in der Vorwoche 10.000 Aufrufe pro Tag auf der Internetseite gemessen worden, so wäre die Anzahl der Aufrufe von 1.000 pro Tag gering. Deshalb empfiehlt es sich, einen Performance Indikator immer auf einen Index zu beziehen, um ihm so Gewicht und Vergleichbarkeit zu geben. In diesem Beispiel könnte es etwa sein, dass der PI auf die maximalen Aufrufe, die je an einem Tag gemessen wurden, skaliert wird. Dies könnte wie folgt aussehen:

$$PI_{\text{Aufrufe}} = \frac{\text{Heutige Aufrufe}}{\text{Maximal je gemessene Aufrufe eines Tages}} \quad (2.1)$$

Dieses Beispiel zeigt, dass ein KPI ohne Verhältnis zu einem Index praktisch keine Aussagekraft hat. Für Eric T. Peterson sind aus diesem Grund schlichte Zahlen ohne Bezug zu einer Referenz keine PIs beziehungsweise KPIs [Pet06].

Abschließend ist noch offen, wie viele KPIs bzw PIs für ein Unternehmen und dessen Zielerreichung definiert werden sollten. Hierbei muss identifiziert werden, welche Leistungen und Messungen überhaupt benötigt werden, um sinnvolle Indikatoren messen zu können. Nicht jede Messung führt zu einer nützlichen Metrik. Wie viele KPIs letztendlich bestimmt werden hängt von der Anwendung und Unternehmenskomplexität ab. Jede Anwendung oder jedes System verfügt über verschieden viele Anforderungen und Zielerreichungen. Aufgrund der Ableitung der KPIs aus den Zielen empfiehlt sich eine Größenordnung entsprechend der Anzahl der Zielvorgaben. In den meisten Fällen sind dies maximal 10 KPIs [Par15].

Ebenfalls sinnvoll ist die Betrachtung des Verhältnisses zwischen der Anzahl der KPI und der Anzahl der PIs. Parmenter hat dazu die 10/80/10 Regel aufgestellt. Diese sagt aus, dass bei 10 aufgestellten KPIs etwa genauso viele KRI und etwa achtmal so viele PIs und RIs in Summe ein System vollständig beschreiben. Im Durchschnitt wird ein KPI von vier PIs begleitet [Par15].



3 Systembeschreibung und Vorgehen

Mit diesem Kapitel wird die Methode beschrieben, die im Anschluss genutzt wird, um die Indikatoren zu identifizieren und untersuchen. Die Beschreibung der Methode nutzt die in Kapitel 2 bereits eingeführte Definition der Kenngrößen und bringt sie in Zusammenhang mit einem Informationsmanagementsystem für den unbemannten Luftraum. Die vollständige Methode ist in Kapitel 3.6 in Stichpunkten zusammengefasst.

3.1 Informationsmanagementsystem für den unbemannten Luftverkehr

Eine Anwendung für ein IMS ist bereits durch das SWIM in Kapitel 2.2.4 erläutert. Für den unbemannten Luftverkehr wird ein neues IMS entwickelt, das auf dem Konzept des SWIM basiert und diese weiterentwickelt. Ein Modell ist in Abbildung 3.1 dargestellt [SES18a].

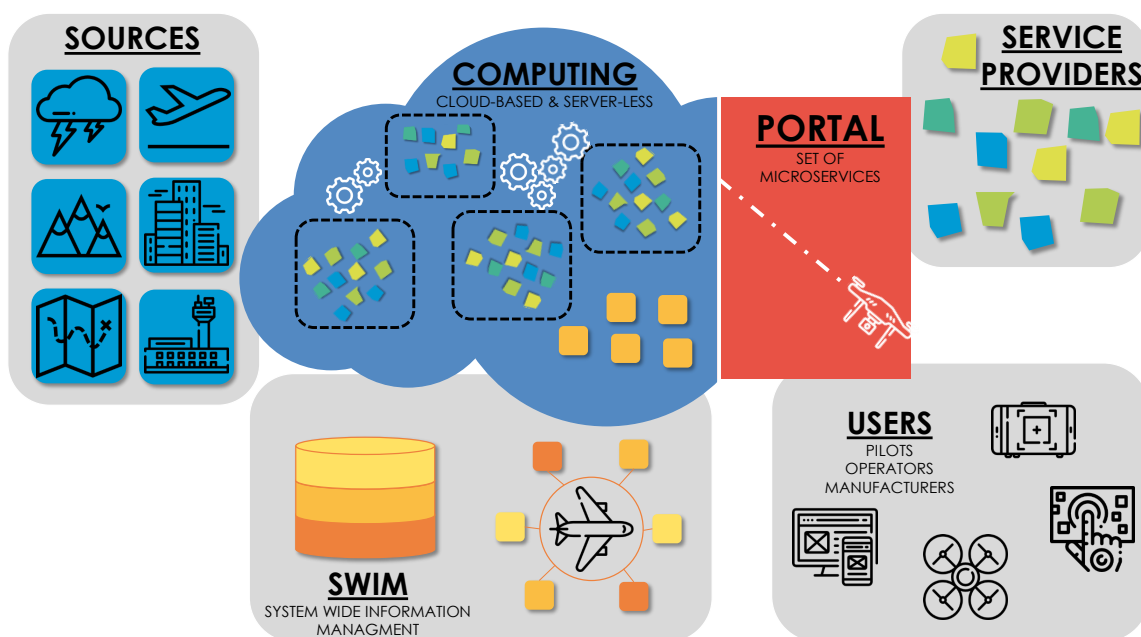


Abbildung 3.1.: Konzeptdarstellung des Informationsportals SWIM nach IMPETUS [SES18a]

Das in der blauen Wolke abgebildete *Computing* beinhaltet die Services, die für den unbemannten Luftverkehr die erforderlichen Funktionen ausführen und die Informationen verarbeiten und weiterleiten. Jeder Service ist schematisch in einer Box umzeichnet. Innerhalb eines Service arbeiten mehrere Microservices zusammen, die individuell für jeden Service zusammengestellt werden können. Die Service Provider, rechts oben abgebildet, die für das IMS die Microservices bereitstellen, sind exemplarisch allgemein gehalten. Das System wird durch Informationen aus diversen Quellen

unterstützt. Alle Datenquellen sind auf der linken Seite durch die Andeutung von meteorologischen, aeronautischen und geographischen Eingängen in das System symbolisiert. Sämtliche Nutzer des Systems, zu denen Piloten, Operatoren und Drohnen Hersteller zählen, greifen über das Portal auf die Services im IMS zu. Als Schnittstelle zur bemannten Luftfahrt ist die graue Box unter dem in blau dargestelltem IMS für den unbemannten Luftverkehr abgebildet.

3.2 Serviceportfolio

Für die Durchführung der Operationen im U-Space werden in der SOA-Umgebung verschiedene Services benötigt, die einzelne Aufgaben bearbeiten und Funktionen erfüllen. In den Drone Information Services des IMPETUS sind 35 Services aus elf verschiedenen Kategorien definiert. In den Services sind die Informationen festgehalten, die für die Operationen im U-Space nötig sind. Alle erforderlichen Informationen sind in den Drone Information Users' Requirements erfasst [BJS⁺18]. Jeder dieser Service wird durch seine Aufgabe, seinen Eingangs- und Ausgangssignale, seinem Prozess und seine Nutzer und Anwender beschrieben [NBJ⁺18]. Eine Auflistung der ausgeführten Services ist in Tabelle 3.1 zusammengetragen.

Kategorie	Service
Aeronautical	Airspace and Drone Structure Drone Port Reference NOTAM
Geospatial	Terrain Obstacles to drone navigation Cartography
Weather	Local-Scale Weather Micro-Scale Weather
System (UAS)	UAS Characteristics Drone Operators
Communications	Traffic Management Link CNPLC Link Communication Performance
Navigation	Navigation Aids Signals of Opportunity Vision-based Navigation Navigation Performance
Surveillance	Traffic Surveillance Surveillance Performance

Flight	<ul style="list-style-type: none"> Flight Planning Flight Management Contingency Planning Contingency Management Flight Data Recording
Traffic	<ul style="list-style-type: none"> Traffic Planning Flight Plan Conformance Monitoring Traffic Control Traffic Data Recording
Mission	<ul style="list-style-type: none"> Mission Planning Mission Execution and Conformance Monitoring Mission Data Recording
Administrative	<ul style="list-style-type: none"> Law Enforcement Reminder, Warnings and Alerts Risk and Insurance Special Authorization and Exemptions

Tabelle 3.1.: Übersicht der Drone Information Services [NBJ⁺ 18]

Eine Zusammenfassung jedes Service befindet sich in im Anhang A. Aus den Services werden die Leistungskennzahlen in dieser Ausarbeitung bestimmt. Die Vorgehensweise zur Herleitung der PIs wird anschließend in Kapitel 3.3 erklärt.

3.3 Vorgehen zur Identifizierung der PIs

Alle PIs werden ausschließlich aus den beschriebenen Services bestimmt. Ein PI besteht aus dem Informationsgehalt mindestens eines Service. Das Verfahren wird in Kapitel 3.3.1 beschrieben. Aus den Zielen des U-Space, siehe dazu Tabelle 2.5, werden die KPIs hergeleitet. Eine ausführliche Beschreibung befindet sich in Kapitel 3.4. Das Vorgehen zur Identifizierung der PIs beruht auf dem Prinzip der Abbildung 2.8 und wird nach unilytics als KPI Karta bezeichnet, welches bereits in Kapitel 2.5 beschrieben ist. Dieser Ansatz verfolgt eine Herleitung aus einer betriebswirtschaftlichen und einer technischen Sicht. Die Schnittstelle der Parameter *CSF* und *Metrik* führt zur Bestimmung einer Leistungskennzahl [uni16].

Es ist zu beachten, dass nicht jede Metrik zwingend zu einer Leistungskennzahl führt. Ebenso führt nicht jede Messung zu einer Metrik. Bei der Bestimmung der KPIs und PIs werden ausschließlich die Metriken berücksichtigt, die einen Einfluss auf die Zielerreichung des betrachteten Service beziehungsweise auf die Zielsetzung des U-Spaces haben.

3.3.1 Ableiten der PIs aus den Services

Da die einzelnen Services zum jetzigen Stand der Forschung als Black Box betrachtet werden, gibt es keine Informationen über die Software Architektur oder die allgemeine Infrastruktur. Es wird lediglich betrachtet, welche Größen in das Subsystem eingehen und welche Parameter der Service als Ergebnis liefert. Aus den insgesamt 35 Services der elf Kategorien, die in den Drone Information Services [NBJ⁺18] beschrieben und im Anhang A zusammengefasst sind, werden gemorphte Gruppen von Services erstellt. Eine gemorphte Gruppe beinhaltet Services, die eine ähnliche Zielsetzung verfolgen oder vergleichbare Aufgaben ausführen. Aus einer Gruppe gemorphter Services wird jeweils ein PI erstellt. Die Aussage eines PIs umfasst die Leistungsfähigkeit aller in ihm beinhalteten Services. Strukturiert werden die PIs durch Performancematrizen.

3.3.2 Die Performancematrizen

Für jeden gemorphten PI werden die Goals & Objectives, CSF, Metriken und Messungen identifiziert. Dies geschieht für jeden Service innerhalb des gemorphten Elements separat. Aus Übersichtsgründen werden die ermittelten Werte in einer Matrixform abgebildet.

Service	A	B	C	...
Goals & Objectives				
CSF				
Messung				
Metrik				

Tabelle 3.2.: Darstellung einer Performancematrix für einen PI

In der letzten Zeile wird eine PI Notation eingefügt, mit der die PIs in der Auswertung bezeichnet werden. Das Vorgehen wird für jeden PI wiederholt.

3.4 Vorgehen zur Identifizierung der KPIs

In diesem Kapitel wird erklärt, aus welchen Informationen die KPIs erstellt werden. Hierzu werden die Ziele des U-Spaces verwendet, aus denen die KPIs abgeleitet werden. Das Vorgehen zur Herleitung der KPIs wird in Kapitel 3.4.2 beschrieben.

3.4.1 Zielsetzung des U-Spaces

Bereits in Kapitel 2.4.2 sind die Zielsetzungen des U-Space aus dem SESAR U-Space Blueprint veranschaulicht. Da die acht Zielsetzungen Grundlage für die Identifizierung von Leistungsindikatoren sind, werden sie für die Einleitung der KPIs vorbereitet.

1. ⊕ Sicherheit aller Nutzer

-
2. ⊕ Automatisierung
 3. ⊕ Skalierbarkeit
 4. ⊕ Schnittstelle zu Nutzern und dessen Integration
 5. ⊖ Kosten-effiziente Service-Umgebung
 6. ⊖ Reduzierung von Entwicklungs- und Operationskosten
 7. ⊖ Schnellere Entwicklung durch Standardisierung
 8. ⊙ Risiko- und Performancebewertung in Hinblick auf die Umwelt und Privatsphäre

In dieser Auflistung sind die Symbole ⊕, ⊖ und ⊙ gekennzeichnet, die die Zielsetzungen für die KPI Bestimmung aussortiert. Elemente der Auflistung, die mit einem ⊕ versehen sind, werden direkt für die Bestimmung der KPIs verwendet. Sie bilden eine Performance-Größe ab, die sich durch einen Leistungsparameter quantitativ beurteilen lässt. Hierzu zählen die Sicherheit aller Nutzer während einer Mission, der Automatisierungsgrad von Operationen, die Skalierbarkeit des gesamten Systems, sowie die Schnittstelle zu Anwendern und ihre Integration. Definitiv nicht berücksichtigt werden die Kosteneffizienz der Services des U-Spaces und die Entwicklungs- und Operationskosten. Beide Zielsetzungen sind durch ein ⊖ gekennzeichnet. Da beide Punkte eine finanzielle Betrachtung des Systems sind, können ausschließlich KRI aus ihnen abgeleitet werden, siehe dazu Kapitel 2.5.3. Weiterhin ist der Punkt 7 mit einem roten Minus versehen. Schnelle Entwicklungen ist eine Messung über einen größeren Zeitraum und wird deshalb in einem KRI beschrieben. Im Punkt 8 sind Charaktereigenschaften eines KRI und eines KPI vereint. Eine Bewertung der Reduzierung des Einflusses auf die Umwelt ist ein Resultat und wird nicht durch einen KPI ausgedrückt. Der Einfluss auf die Privatsphäre ist eine direkt messbare Größe und wird unmittelbar in einem KPI festgehalten. Damit wird die Sicherheit gegen äußere unerlaubte Zugriffe auf Daten oder der Missbrauch von Daten beschrieben. Im letzten Punkt wird der Missbrauch des Systems beschrieben. Aus diesem Grund ist Punkt 8 durch ein ⊙ gekennzeichnet.

3.4.2 Herleitung der KPIs

Für jede Zielsetzung, die für die Identifikation von KPIs eine Relevanz haben, sind die Goals & Objectives bereits bekannt. Basierend auf der Abbildung 2.8 werden für jede Zielsetzung die fehlenden Parameter identifiziert und in das Schema eingetragen. Das Vorgehen ist analog zur Identifikation der PIs nach dem KPI Karta von unilytics [uni16]. Da jeder KPI aus ausschließlich einer Zielsetzung des U-Spaces besteht, entspricht die Anzahl der Zielsetzungen gleich der Anzahl der KPIs. Die weiteren Parameter zu Bestimmung der KPIs, zu denen die CSF, Messungen und Metriken zählen, beruhen auf den Annahmen des Autors. Für jeden KPI wird deshalb eine Performancematrix vergleichbar zur Abbildung 3.2 erstellt. Allerdings besteht der Unterschied in diesem Falle in der einspaltigen Formatierung durch die Vorgabe einer einzigen Zielsetzung je KPI.

3.5 Die Beeinflussungsmatrix

Im Anschluss an die Identifizierung aller Leistungskennzahlen werden die Abhängigkeiten untereinander analysiert. Im Falle der PIs soll damit nicht gezeigt werden, inwiefern die Funktion des Service A sich auf die Funktion des Service B auswirkt. Vielmehr wird analysiert, welchen Einfluss der Output des PI A - entspricht dem Input des PI B - auf die Ergebnisse und Outputs des PI B hat. Es wird dafür eine Beeinflussungsmatrix erstellt, in der die einzelnen PIs in einer 1:1 Relation gegenübergestellt werden. Es handelt sich ausschließlich um die Abhängigkeiten von Informationen. Entsprechend werden die Abhängigkeiten in Form von Relationen für die KPIs analysiert. Als letzteres werden Einflüsse von PIs auf KPIs identifiziert und untersucht.

3.5.1 Einflussnahme und Beeinflussbarkeit

Die Beeinflussungsmatrix strukturiert einen paarweisen Vergleich zwischen einzelnen Objekten. Mit der von Probst und Gomez eingeführten Methode werden Relationen innerhalb einer Matrix aufgestellt [PG89]. Da in der Beeinflussungsmatrix jedes Element mit jedem Element verglichen wird, hat die Matrix bei n Elementen die Dimension $n \times n$.

Einfluss von ↗ auf					
	A	B	C	D	...
A	-				
B		-			
C			-		
D				-	
...					-

Tabelle 3.3.: Beeinflussungsmatrix nach Probst und Gomez [PG89]

Alle betrachteten Elemente werden sowohl in den Zeilen wie in den Spalten in gleicher Reihenfolge aufgelistet. Eine Zelle der Matrix betrachtet den Einfluss vom Element der Zeile auf das Element der Spalte. Relationen, die in den Matrixzellen einzutragen sind, werden zukünftig mit einem R abgekürzt. Eine Relation der i . Zeile auf die j . Spalte wird als R_{ij} gekennzeichnet. Allgemein gilt:

$$R_{ij} \neq R_{ji} \quad (3.1)$$

$$R_{ii} = - \quad (3.2)$$

Relationen können einen dimensionslosen Wert von null bis drei annehmen.

- 0 keine oder äußerst geringe Intensität
- 1 geringe Intensität
- 2 starke Intensität
- 3 sehr starke Intensität

Tabelle 3.4.: Intensitätsstärken nach Probst und Gomez [PG89]

Somit ergibt sich für R:

$$R_{max} = 3 \tag{3.3}$$

$$R_{min} = 0 \tag{3.4}$$

Eine Einteilung in nur vier verschiedene Stärken scheint recht grob. Da allerdings die Methode bislang auf einem Konzept beruht und alle Services abstrakt behandelt werden, ist eine feinere Einteilung nicht zielführend. Zudem basieren die Zuteilungen allein auf Annahmen des Autors. Ein binäres System - A hat einen Einfluss auf B oder eben nicht - ist in diesem Fall allerdings zu grob, da bereits in den Drone Information Services [NBJ⁺18] feinere Unterteilungen getroffen sind.

Nachdem die Matrix mit allen notwendigen Einträgen befüllt ist, können anhand der Spalten und Zeilen Eigenschaften der einzelnen Elemente abgeleitet werden. Aus der Summe der Spalteneinträge kann für jedes Element die Passivität abgeleitet werden. Mit der Passivität wird eine Beeinflussbarkeit der Elemente ausgedrückt. Aus der Summe der Zeileneinträge wird ein aktives Verhalten in Form einer Einflussnahme erkannt. Als Synonym für Einflussnahme wird Aktivsumme (AS) genutzt. Entsprechend wird für die Beeinflussbarkeit das Synonym Passivsumme (PS) verwendet.

Einfluss auf ↗ von	auf					Σ AS
	A	B	C	D	E	
A	-					← Aktivsumme
B		-				
C			-			
D				-		
E					-	
Σ PS	↑ Passivsumme					

Tabelle 3.5.: Beeinflussbarkeit und Einflussnahme der PI in der Beeinflussungsmatrix nach Probst und Gomez [PG89]

Sofern für jede Spalte und jede Zeile eine Summe gebildet wird, kann jedem Element eine Beeinflussbarkeit in Form der Passivsumme und eine Einflussnahme in Form der Aktivsumme zugeordnet werden. Anhand dieser Kennzahlen wird beurteilt, ob ein Indikator aktiv, träge, reaktiv oder kritisch

ist.

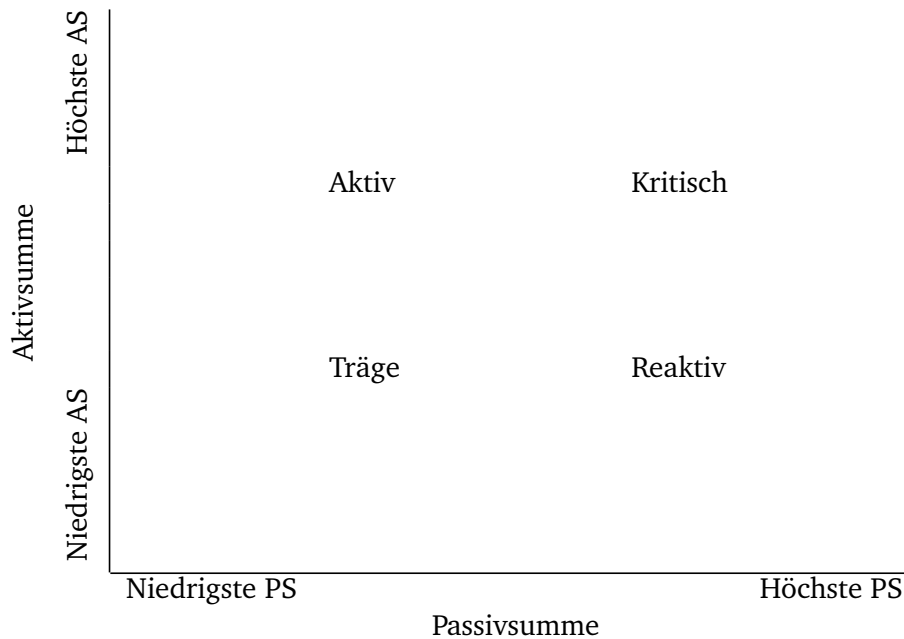


Tabelle 3.6.: Aktiv-/Passiv Darstellung nach Probst und Gomez [PG89]

Nach Zuordnung eines Wertes für die AS und die PS für jedes Element ist es das Ziel, alle Leistungskennzahlen im Raster der Tabelle 3.6 zu positionieren, um so einen Überblick über die verschiedenen Charakteristiken zu erhalten. Es wird zwischen den vier Charaktereigenschaften unterschieden [Ché89].

- **Aktiv**
Besitzen starke Wirkung auf andere Elemente, werden selber aber wenig beeinflusst. Sie eignen sich als Hebel.
- **Träge**
Robuste Elemente, da sie wenig beeinflusst werden und selber wenig Einfluss ausüben.
- **Reaktiv**
Passive Elemente werden stark beeinflusst und haben eine geringe Hebelwirkung. Sie eignen sich gut als Indikatoren.
- **Kritisch**
Einfluss und Beeinflussbarkeit sind in gleichem Maße groß. Kritische Elemente können als Hebel genutzt werden.

Jede AS und PS wird für die Untersuchung normiert. Das bedeutet, dass jede Summe der Zeilen und Spalten der Beeinflussungsmatrix auf den maximal erreichbaren Wert skaliert wird. Die maximale Summe aus den Zeilen und Spalten wird durch die Anzahl der Elemente der Matrix und dem maximalen Wert der Relationen R_{max} berechnet. Dieses Vorgehen wird in den Kapiteln 3.5.2.1, 3.5.2.2 und 3.5.2.3 angewandt. Dadurch können AS und PS ausschließlich Werte zwischen null und

eins annehmen.

Aus dieser Methode werden nach Probst und Gomez mehrere Einblicke in das System ermöglicht [PG89]. Die Vorteile für die Anwendung dieser Methode, die mit dieser Arbeit verfolgt wird, sind aufgelistet.

- Es wird eine Übersicht geschaffen, ohne zu sehr Details zu betrachten.
- Qualitative Zusammenhänge werden aufgezeigt, um das System qualitativ zu optimieren.
- Die Funktionen und Rollen der PIs und KPIs werden deutlich.
- Es werden offensichtliche und verdeckte Einflüsse berücksichtigt. Dazu zählen unmittelbare und indirekte Einflüsse.
- Anhand der Untersuchung der Indikatoren können Maßnahmen und Planungen gestaltet werden.

Dem gegenüber stehen die Nachteile.

- Es ist keine quantifizierbare Beurteilung möglich.
- Die Relationen im Modell beruhen auf Annahmen. Dafür ist eine hohe Expertise und Auseinandersetzung mit dem Thema notwendig.
- Die Modellausbildung, -entwicklung und -bewertung benötigen Zeit.

3.5.2 Untersuchung der Relationen

Nachdem die Beeinflussungsmatrix von Probst und Gomez mit ihren Analysemöglichkeiten beschrieben ist, wird dieses Verfahren auf die Leistungskennzahlen dieser Arbeit angewendet. Dafür werden insgesamt drei verschiedene Matrizen aufgebaut. Diese untersuchen einerseits den Einfluss von PIs auf PIs in Kapitel 3.5.2.1, den Einfluss von KPIs auf KPIs in Kapitel 3.5.2.2 und den Einfluss von PIs auf KPIs in Kapitel 3.5.2.3. Für jedes Teilsystem wird jeweils eine AS und eine PS für die Elemente der Matrizen erstellt. Nach der Normierung auf den maximalen Summenwert einer jeweiligen Spalte und Zeile wird die genormte AS mit einem α und die PS mit einem π beschrieben. Mit der Hochstellung von P und K wird ausgesagt, auf welches System das jeweilige α und π sich bezieht. Für PIs wird die Abkürzung P und für die KPIs die Abkürzung K verwendet. In Tabelle 3.7 sind alle zu bestimmenden Parameter einer Beeinflussungsmatrix zugeordnet.

	PI		KPI	
PI	Kapitel 3.5.2.1	α^{PP}	Kapitel 3.5.2.3	α^{PK}
		π^{PP}		π^{PK}
KPI	-		Kapitel 3.5.2.2	α^{KK}
				π^{KK}

Tabelle 3.7.: Übersicht Beeinflussungsmatrizen

Der Einfluss von KPIs auf PIs wird bewusst nicht analysiert, da durch die Definition der Indikatoren eine rangabwärtige Einflussnahme ausgeschlossen ist. Eine Einflussnahme von einem KPI auf einen PI ist im Sinne der Hierarchie der Indikatoren nicht entsprechend. Vor der Einführung und Beschreibung aller notwendigen Parameter sind diese in der Übersicht in Tabelle 3.8 zusammengefasst.

Einfluss von → auf	Indexnotation			
	nicht genormt		genormt	
	Aktivsumme	Passivsumme	Aktivsumme	Passivsumme
PI → PI	$AS_{PI_x}^{PP}$	$PS_{PI_x}^{PP}$	$\alpha_{PI_x}^{PP}$	$\pi_{PI_x}^{PP}$
KPI → KPI	$AS_{KPI_x}^{KK}$	$PS_{KPI_x}^{KK}$	$\alpha_{KPI_x}^{KK}$	$\pi_{KPI_x}^{KK}$
PI → KPI	$AS_{PI_x}^{PK}$	$PS_{KPI_x}^{PK}$	$\alpha_{PI_x}^{PK}$	$\pi_{KPI_x}^{PK}$
KPI → PI	<i>wird nicht weiter berücksichtigt</i>			

Tabelle 3.8.: Übersicht aller AS und PS aus den Beeinflussungsmatrizen

3.5.2.1 Untersuchung des Einflusses von PIs auf PIs

In der Beeinflussungsmatrix 3.9 werden ausschließlich alle PIs gegenübergestellt. Alle Zellen können einen Wert von null bis drei repräsentativ für die Relation der entsprechenden PIs annehmen. Die Relationen beruhen auf den Annahmen des Autors.

Einfluss ↗ von	PI 1	PI 2	PI 3	PI 4	...
PI 1	-				
PI 2		-			
PI 3			-		
PI 4				-	
...					-

Tabelle 3.9.: Beeinflussbarkeit und Einflussnahme der PIs in der Beeinflussungsmatrix nach Probst und Gomez [PG89]

Im Anschluss wird jedem PI durch Bildung der Summen der Zeilen und Spalten eine AS und PS zugeordnet. Beide Eigenschaften eines jeden PIs werden durch die maximale Summe genormt.

$$\alpha_{PI_x}^{PP} = \frac{AS_{PI_x}^{PP}}{AS_{max}^{PP}} = \frac{AS_{PI_x}^{PP}}{R_{max} * (n_{PI} - 1)} \quad (3.5)$$

$$\pi_{PI_x}^{PP} = \frac{PS_{PI_x}^{PP}}{PS_{max}^{PP}} = \frac{PS_{PI_x}^{PP}}{R_{max} * (n_{PI} - 1)} \quad (3.6)$$

Für die Bildung der maximal erreichbaren Werte, die in den Nennern stehen, wird die Anzahl der PIs um 1 reduziert, da die Betrachtungen von PI A auf PI A, PI B auf PI B, ... nicht berücksichtigt werden. In Tabelle 3.9 sind die Einträge der Zellen durch ein „-“ gekennzeichnet.

Nach der Bestimmung aller α^{PP} und π^{PP} der PIs werden diese im Raster nach Tabelle 3.6 aufgetragen. Jeder PI bildet einen Punkt. Anhand der Rasterung werden den einzelnen PIs die Eigenschaften aktiv, kritisch, reaktiv und träge zugeordnet. Die Untersuchung der PIs befindet sich in Kapitel 5.1.

3.5.2.2 Untersuchung des Einflusses von KPIs auf KPIs

Analog zur Untersuchung der PIs werden die KPIs in einer Beeinflussungsmatrix gegenübergestellt. Das Vorgehen wird exakt übertragen. Der Unterschied besteht in der Dimension der Matrix, da sich die Anzahl der KPIs gegenüber der PIs verringert.

Einfluss auf ↗ von	KPI 1	KPI 2	KPI 3	KPI 4	...
KPI 1	-				
KPI 2		-			
KPI 3			-		
KPI 4				-	
...					-

Tabelle 3.10.: Beeinflussbarkeit und Einflussnahme der KPIs in der Beeinflussungsmatrix nach Probst und Gomez [PG89]

Ebenso werden die AS und PS der KPIs genormt.

$$\alpha_{KPI_x}^{KK} = \frac{AS_{KPI_x}^{KK}}{AS_{max}^{KK}} = \frac{AS_{KPI_x}^{KK}}{R_{max} * (n_{KPI} - 1)} \quad (3.7)$$

$$\tau_{KPI_x}^{KK} = \frac{PS_{KPI_x}^{KK}}{PS_{max}^{KK}} = \frac{PS_{KPI_x}^{KK}}{R_{max} * (n_{KPI} - 1)} \quad (3.8)$$

Für die KPIs wird im gleichen Stil der PIs ein Raster nach Tabelle 3.6 aufgestellt, durch das für jeden KPI die Eigenschaften aktiv, kritisch, reaktiv und träge zugeordnet werden können. Die Diagonale der Tabelle 3.10 wird ebenso durch „-“ gekennzeichnet, da keine Relationen von einem KPI auf sich selber bestimmt werden kann. Die Untersuchung der KPIs befindet sich in Kapitel 5.2.

3.5.2.3 Vorgehen zur Beeinflussung von PIs auf KPIs

Nach der Identifizierung und der Untersuchung der PIs und der KPIs wird eine Beeinflussung untereinander untersucht. Dafür wird eine angepasste Variante der Beeinflussungsmatrix verwendet.

Einfluss auf ↗ von	KPI 1	KPI 2	KPI 3	KPI 4	...
PI 1					
PI 2					
PI 3					
PI 4					
...					

Tabelle 3.11.: Adaption der Beeinflussungsmatrix nach Probst und Gomez [PG89]

Im Vergleich zur bisher verwendeten Variante der Beeinflussungsmatrix werden in diesem Fall nicht alle Leistungskennzahlen der PIs oder KPIs gegenübergestellt. In der ersten Spalte sind alle PIs aufgetragen. Alle KPIs bilden die erste Zeile. Somit wird einzig der Einfluss von PIs auf KPIs

untersucht. Relationen haben weiterhin eine Aufteilung in null bis drei. In der angepassten Variante der Beeinflussungsmatrix werden erstmals Diagonalelemente belegt, da für kein Element eine Relation auf sich selber ermittelt werden muss. Für die PIs wird eine Aktivität auf die KPIs durch Bildung der Zeilensummen bestimmt. Aus den Spaltensummen wird eine Beeinflussbarkeit durch PIs beschrieben.

$$\alpha_{PI_x}^{PK} = \frac{AS_{PI_x}^{PK}}{AS_{max}^{PK}} = \frac{AS_{PI_x}^{PK}}{R_{max} * n_{KPI}} \quad (3.9)$$

$$\pi_{KPI_x}^{PK} = \frac{PS_{KPI_x}^{PK}}{PS_{max}^{PK}} = \frac{PS_{KPI_x}^{PK}}{R_{max} * n_{PI}} \quad (3.10)$$

Für diesen Fall der Beeinflussungsmatrix wird ausschließlich eine AS für die PIs und eine PS für die KPIs ermittelt. Beide Parameter sind genormt. Das System PI auf KPI wird durch ein hochgestelltes *PK* gekennzeichnet.

3.5.3 Evaluation der Aktivität der PIs

Im Anschluss wird die Aktivität der PIs evaluiert. Es geht bei dieser Untersuchung um die Betrachtung der genormten Aktivsummen, die für jeden PI auf Basis der Beeinflussungsmatrizen berechnet sind. Für jeden PI werden zwei Aktivsummen für die Untersuchung benötigt. Aus der Betrachtung von PIs auf PIs wird α^{PP} verwendet. Von der angepassten Variante der Beeinflussungsmatrix von PIs auf KPIs wird α^{PK} genutzt. In Tabelle 3.12 wird α^{PK} über α^{PP} aufgetragen.

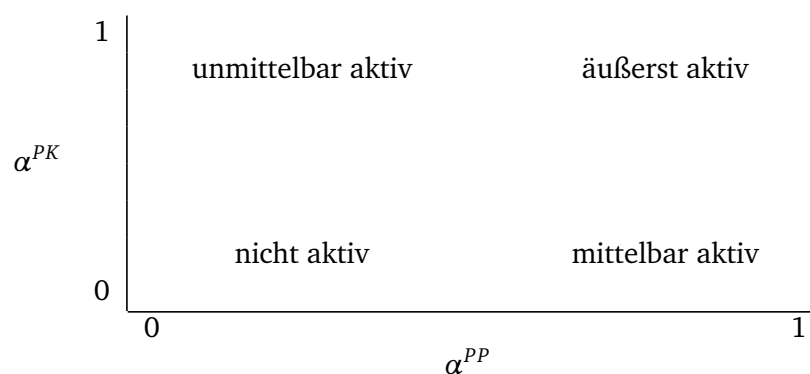


Tabelle 3.12.: Evaluation der Einflussnahme der PIs

Anhand dieses Rasters wird der Aktivität der PIs Eigenschaften zugeordnet.

- **unmittelbar aktiv**

Der PI besitzt wenig Einfluss auf andere PIs. Dafür wirkt er stark auf KPIs. Sein Einfluss auf die KPIs ist unmittelbar.

- **mittelbar aktiv**

Der PI übt ausschließlich auf andere PI Einfluss aus. Seine Einflussnahme auf KPIs ist mittelbar, da sein Einfluss über andere PI übermittlemt wird.

- **äußerst aktiv**

Der PI übt auf weitere Indikatoren unmittelbar und mittelbar Einfluss aus.

- **nicht aktiv**

Der PI übt schwach oder überhaupt nicht auf andere PIs oder KPIs Einfluss aus.

Die Unterscheidung von mittelbarem und unmittelbarem Einfluss wird anhand der Abbildung 3.2 verdeutlicht.

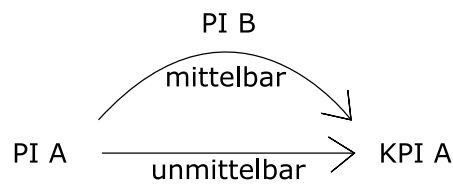


Abbildung 3.2.: Unterschied von mittelbarem und unmittelbarem Einfluss der Indikatoren

Falls ein PI einen schwachen oder keinen direkten Einfluss auf KPIs besitzt, kann der PI über mindestens einen weiteren PI Einfluss auf die KPI auswirken. Zur vollständigen Betrachtung der Aktivität muss zusätzlich zum unmittelbaren Einfluss der mittelbare indirekte Einfluss auf KPIs gezählt werden. Da in dieser Arbeit alle Services als Black Box und die PIs als abstrakte Indikatoren behandelt werden, ist die Beurteilung der Aktivitäten aus Tabelle 3.12 ausschließlich qualitativ und nicht quantitativ.

3.5.4 Evaluation der Passivität der KPIs

Analog wird für die KPIs die Beeinflussung untersucht. Für diesen Zweck wird die genormte PS π^{KK} der Betrachtung KPI auf KPI und die genormte PS π^{PK} der Betrachtung PI auf KPI verwendet. In Tabelle 3.13 wird für die Untersuchung der Passivität der KPIs π^{PK} über π^{KK} aus Sicht jedes KPIs aufgetragen.

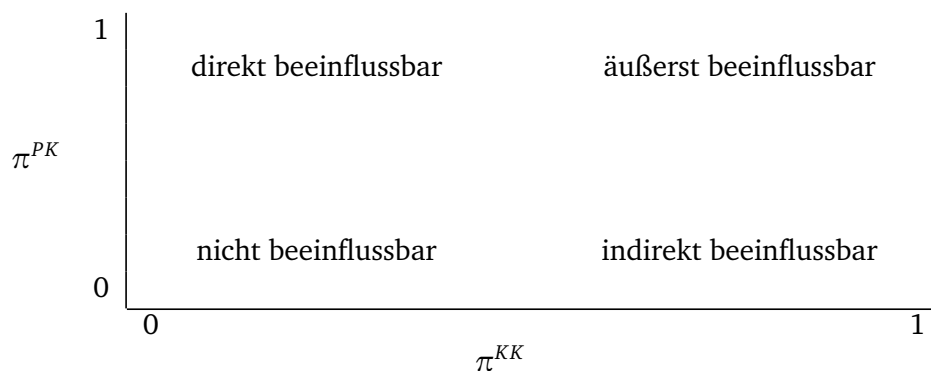


Tabelle 3.13.: Evaluation der Beeinflussung der KPIs

Bisher ist einzig die Beeinflussbarkeit der KPIs durch andere KPIs untersucht. Scheinbar schwach beeinflusste KPIs können allerdings direkt oder indirekt zusätzlich von PIs beeinflusst werden. Die Beeinflussbarkeit der KPIs von den PIs wird in vier Eigenschaften unterteilt.

- **direkt beeinflussbar**
Der KPI wird direkt von einem PI beeinflusst.
- **indirekt beeinflussbar**
Der KPI wird indirekt von einem PI beeinflusst. Ein PI übt Einfluss auf einen weiteren KPI aus, der auf den betrachteten KPI wirkt.
- **äußerst beeinflussbar**
Der KPI wird direkt und indirekt über einen weiteren KPI beeinflusst.
- **nicht beeinflussbar**
Der KPI wird nahezu nicht von PIs beeinflusst, sowohl direkt wie indirekt.

Es wird betrachtet, welche Gestalt der Einfluss von PIs auf KPIs hat. Durch die Beeinflussungsmatrix von PIs auf KPIs wird ausschließlich der direkte Einfluss von PIs auf KPIs untersucht. Allerdings kann ein PI durch die Einflussnahme auf einen weiteren KPI indirekt Einfluss auf den betrachteten KPI ausüben.

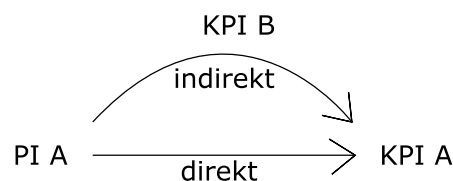


Abbildung 3.3.: Unterschied von direktem und indirektem Einfluss der Indikatoren

Mit dieser Methode wird gezeigt, welche Möglichkeiten ein Systemoperator besitzt, um einen KPI durch einen PI zu beeinflussen. Falls keine direkte Relation zwischen PI und KPI besteht, kann weiterhin die Möglichkeit einer indirekten Beeinflussung bestehen. Ebenso wird die Analyse qualitativ und nicht quantitativ durchgeführt.

3.6 Zusammenfassung der Methode

Nach der ausführlichen Beschreibung zum Vorgehen der Identifizierung und Untersuchung der Leistungskenngrößen, wird in diesem Kapitel die Methode in einer Kurzform rekapituliert.

1. Aufstellen der PIs anhand der Services, die in den Drone Information Service beschrieben sind [NBJ⁺18]
2. Aufstellen der KPIs anhand der Zielsetzungen des U-Spaces [Bul17]
3. System PP: Erstellen einer Beeinflussungsmatrix für die Untersuchung des Einflusses von PIs auf PIs

-
4. System PP: Ableiten der Aktivität α^{PP} und der Passivität π^{PP}
 5. System KK: Erstellen einer Beeinflussungsmatrix für die Untersuchung des Einflusses von KPIs auf KPIs
 6. System KK: Ableiten der Aktivität α^{KK} und der Passivität π^{KK}
 7. System PK: Erstellen einer Beeinflussungsmatrix für die Untersuchung des Einflusses von PIs auf KPIs
 8. System PK: Ableiten der Aktivität α^{PK} und der Passivität π^{PK}
 9. Untersuchung der Aktivität von PIs in Bezug auf mittelbaren und unmittelbaren Einfluss auf KPIs durch die Analyse von α^{PP} und α^{PK}
 10. Untersuchung der Passivität der KPIs in Bezug auf direkte und indirekte Beeinflussung durch PIs durch die Analyse von π^{KK} und π^{PK}

Aus den letzten beiden Punkten werden essentielle Informationen mit dem Umgang der Kenngrößen erworben.

- Die vollständige Betrachtung der Aktivität der PIs, festgehalten in α^{PP} und α^{PK} , charakterisiert die Einflussnahme des Indikators. Durch die Analyse der Aktivitäten der PIs wird erfasst, an welchen Stellen im System eine Änderung der Informationen eines PIs eine Änderung der Informationen weiterer PIs und KPIs bewirkt. Es handelt sich um eine Kette von Informationsabhängigkeiten.
- Demgegenüber steht die Betrachtung der Passivität der KPIs, festgehalten in π^{KK} und π^{PK} . Die Beeinflussung eines KPIs erfolgt durch PIs entweder direkt oder indirekt über einen weiteren Indikator. Dadurch wird ausgesagt, bei welchen Indikatoren eine Änderung der Informationen einen Einfluss auf einen bestimmten KPI bewirken.

4 Identifizierung der Leistungskennzahlen

Nachdem die Methode zur Identifizierung der PIs und KPIs in Kapitel 3 beschrieben ist, werden insgesamt 17 PIs und fünf KPIs identifiziert. Alle PIs basieren auf den Services der Drone Information Services [NBJ⁺18]. Durch die Grundprinzipien zur Erfüllung der Zielvorgaben des U-Space werden die fünf KPIs charakterisiert [Bul17].

4.1 Servicegerüst der PIs

Aus den 35 Services, die im Anhang A in einem Kurzporträt vorgestellt sind, werden insgesamt 17 PIs aus den Informationen der Services abgeleitet. Ein PI kann Services aus verschiedenen Kategorien enthalten. Jeder Service wird nur einem PI zugeordnet. Alle PIs sind nummeriert und durch eine Notation beschrieben. In Table 4.1 sind alle PIs ihrer Nummerierung und Services zugeordnet.

Nr	Notation	Bezeichnung	Services
01	PI_{aero}	Luftraum	Airspace and drone zone structure Drone Port Reference
02	PI_{geo}	Geografie	Terrain Cartography
03	PI_{wx}	Wetter	local-scale weather micro-scale weather
04	PI_{UAV}	UAV	UAS Characteristics
05	PI_{DO}	UAS Operator	Drone Operator
06	PI_{com}	Kommunikation	Traffic Management Link CNPLC Link
07	PI_{nav}	Navigation	Navigation Aids Signals of Opportunity Vision-based Navigation Obstacles to Drone
08	PI_{surv}	Überwachung	Traffic Surveillance
09	PI_{plan}	Planning Operation	Flight Planning Traffic Planning Mission Planning
10	PI_{sepa}	In-Flight Separation	Traffic Control Flight Management
11	PI_{konf}	In-Flight Konformität	Mission Execution and Conformance Monitoring Flight Plan Conformance
12	PI_{post}	Post-Flight Operationen	Flight Data Recording Traffic Data Recording Mission Data Recording
13	PI_{emerg}	Notfallhandlungen	Contingency Planning Contingency Management
14	PI_{note}	Mitteilungen	NOTAM Reminders, Warnings, Alerts
15	PI_{law}	Gesetzeskonformität	Law Enforcement
16	PI_{risk}	Risikoanalyse	Risk and Insurance
17	PI_{exemp}	Sonderregelungen	Special Authorization and exemptions

Tabelle 4.1.: Zuordnung der Services zu den 17 PIs

Für jeden einzelnen PI wird eine Matrix erstellt, in der für jeden im PI enthaltenen Service die Goals & Objectives sowie die CSF und die Messungen sowie die Metriken beschrieben sind. Alle Beschreibungen der definierten PIs befindet sich in Tabelle 5.1 in Kapitel 5.1.

4.1.1 Luftraum-Infrastruktur

Der Indikator PI_{aero} dient als Indikator für die Luftraum-Infrastruktur und nutzt Informationen der Services Airspace und Drone Port Reference. Mit diesem PI werden aeronautische Architekturen des U-Space anhand ihrer Auslastung beurteilt.

Der Airspace bildet den aeronautischen Luftraum des U-Space, in dem die UAS operieren dürfen. Dies kann in einem ersten Ansatz als ein dreidimensionaler Quader betrachtet werden. Innerhalb dieses Quaders können AV ihre autorisierte Mission und Flugtrajektorie abfliegen. Falls ein AV den Luftraum verlassen muss, um beispielsweise in einen neuen Luftraum einzutreten oder zu landen, geschieht dies ausschließlich mit Rücksprache mit dem U-Space. Alle Aktionen eines AVs müssen innerhalb des Luftraumes konfliktfrei ablaufen. Das bedeutet, dass zu keinem Zeitpunkt eine Aktion eines AVs sich selber oder einen anderen U-Space-Teilnehmer in einen kritischen Zustand bringen darf. Genannte Fälle des Merging Conflict oder Catching-Up Conflict sind nur zwei Beispiele eines unerwünschten Ereignis.

Andererseits wird der Indikator PI_{aero} aus technischer Sicht bestimmt. Dem dreidimensionalen Luftraum wird in Form von kartesischen Koordinaten ein Volumen zugeordnet, das nicht zwingend zeitlich unabhängig sein muss. Aufgrund kurz- oder langfristiger Änderungen der geographischen Umgebungen oder besonderen Ereignissen im Luftraum, kann das Volumen zeitlich abhängen. Das Auftreten der Ereignisse, die den Luftraum in seiner Gestalt beeinflussen, wird dokumentiert. Zusätzlich werden alle AVs in einem definierten Luftraum gemessen. Dieser Parameter ist ebenfalls von der Zeit abhängig. Aus dem Verhältnis von aktuell im Luftraum befindlichen AVs und der Größe des betrachteten Luftraumes wird eine räumliche und zeitliche Ausnutzung des Luftraumes gebildet. Mathematisch werden unerwünschte Ereignisse durch Wahrscheinlichkeiten charakterisiert.

Als Start- und Endpunkt jeder Mission stehen üblicherweise Drone Ports zur Verfügung. Sie sind das U-Space Äquivalent zu einem Flughafen in der bemannten Luftfahrt. Sie bilden die Schnittstelle zwischen Bodenoperationen und Missionsausführungen ab. Aktionen am AV selbst wie Wartung, Energieversorgung oder Reinigung oder an der PL können vorgenommen werden. Für jede Start- und Landeanfrage muss in einem zeitlichen akzeptablen Rahmen ein Operationsfenster verfügbar sein. Insbesondere für Landeanfragen aufgrund eines Notfalls müssen ausreichend Kapazitäten für alle AV Typen - CTOL, VTOL und STOL - vorhanden sein.

Aus der Infrastruktur lässt sich die Anzahl der Drohhäfen für die verschiedenen Typen der AV ableiten. Zudem werden die realen Starts und Landungen gemessen und in Zeitfenster sortiert. Durch das Verhältnis von Start, Landungen und Aufenthaltszeiten von AVs an einem Drone Port und deren Anzahl, beziehungsweise deren Verfügbarkeit, wird eine zeitliche Auslastung ermittelt. Anhand dieser wird zudem eine zu erwartende Wartezeit für eine Operation an einem bestimmten Drone Port hergeleitet.

Service	Airspace	Drone Port Reference
Goals & Objectives	Festlegung und Bilanzierung der Einsatzumgebung für alle UAV; Bildet aeronautisches Luftstraßennetz ab	Ausgangs- und Endpunkt jeder Mission; Bereich für Be- und Entladung von PL; Schnittstelle vom Boden zum Luftraum
CSF	Luftraum ist so zu gestalten, dass alle UAV konfliktfrei operieren; Jede UAV befindet sich ausschließlich in dem für sie genehmigten Luftraum	Für jede Landeanfrage steht ein Drone Port in einem zeitlichen akzeptablen Zeitraum zur Verfügung; UAV landen und starten auf dem für sie vorgesehenen Drone Port
Messung	Ein Luftraum kann in einem kartesischen Koordinatensystem bemaßt werden; Zeitliche Änderungen werden dokumentiert; Anzahl der Teilnehmer in einem Bilanzraum in einem gegebenen Zeitraum; Häufigkeit der unerwarteten Ereignisse wie Notfälle	Anzahl der CTOL, VTOL und STOL Drone Ports; Anzahl der Landungen und Start in einem Bilanzraum; Frei verfügbare Drone Ports zu einem gegebenen Zeitpunkt
Metrik	Räumliche Auslastung in einem Bilanzraum in einem gegebenen Zeitraum; Auftrittswahrscheinlichkeit von unerwünschten Ereignissen	Zeitliche Auslastung der Drone Ports; Durchschnittliche Wartezeit an einem Drone Port

Tabelle 4.2.: Performancematrix für PI_{aero}

In der Tabelle 4.2 sind alle wesentlichen Punkte zusammengefasst. Mit dem Indikator PI_{aero} wird demnach die Auslastung und Ausnutzung eines bestimmten Luftraumes ausgesagt. Dies umfasst nicht ausschließlich einen dreidimensionalen Körper für In-Flight Phasen, sondern ebenfalls die Schnittstelle von Luftmission und Bodenoperationen.

4.1.2 Geographie

Geographische Informationen werden für den Indikator PI_{geo} genutzt. Es werden die Services Terrain und Cartography genutzt.

Das Ziel des Services Terrain ist die Erstellung einer dreidimensionalen digitalen Abbildung der Umgebung. Dazu zählen einerseits natürliche gegebene Hindernisse, sowie urbane Objekte, die für den unbemannten Luftverkehr relevant sind. Gebäude, Bauwerke oder natürliche Gegebenheiten, die einen Einfluss auf den Flugverkehr haben könnten, werden charakterisiert und typisiert. Je nach Anforderungen können verschieden große Sicherheitszonen um das Objekt bestimmt werden. Zeitliche Änderungen des Terrains müssen erfasst und an den U-Space weitergegeben werden. Das Maß der zeitlichen und räumlichen Auflösung muss an die Missions- und Sicherheitsanforderungen angepasst sein.

Alle Geländeelemente werden in Position, Höhe, Breite und Form bemessen. Bestimmte Typen von Objekten erhalten Sicherheitszonen, falls diese für den sicheren Luftbetrieb notwendig ist. Anhand der Dichte, Ausdehnung und Größe der Hindernisse werden NDZ und LDZ abgeleitet. Metriken des Terrains haben starken Einfluss auf die Luftraumstruktur.

Die Kartographie beschreibt eine orthographische Darstellung der Einsatzumgebung der UAV. In der üblicherweise zweidimensionalen Karte wird zwischen privatem und öffentlichem Gelände unterschieden. Zudem werden alle Infrastrukturelemente für den unbemannten Luftverkehr auf der Karte mit aufgeführt. Dazu zählen Bodenstationen, Drone Ports, Notfalllandeplätze und gesperrte Bereiche aufgrund bemannter Luftfahrt, militärischer Einsatzgebiete oder Sonstige. Ebenso muss eine notwendig hohe Auflösung vorhanden sein, um den sicheren Luftbetrieb zu gewährleisten.

Entfernungen und Abstände in einer zweidimensionalen Ansicht werden aufgenommen. Verschiedene Typen von Gebieten werden unterschieden. Dies können private Bereiche, Naturschutzgebiete, offene Flächen, öffentliche Plätze mit hoher Menschenansammlung, gesperrte Bereiche aufgrund bemannter oder militärischer Luftfahrt oder temporäre Sperrzonen sein. Typisierungen sind Grundlage für Einteilungen in NDZ, LDZ oder für den U-Space nutzbare Zonen.

Service	Terrain	Cartography
Goals & Objectives	Eine digitale dreidimensionale Abbildung der Landschaft wird erstellt; Urbane und natürliche vertikale Objekte werden typisiert	Eine orthographische Abbildung der Umwelt wird erstellt
CSF	Alle potentiellen Hindernisse für eine UAV werden digital erfasst; Eine ausreichend hohe räumliche Auflösung ist notwendig; Alle zeitlichen Änderungen werden digitalisiert aufbereitet	Anzeigen und Unterscheidungen von privaten Flächen und öffentlichem Gelände sind klar deutlich; Eine ausreichend hohe räumliche Auflösung ist notwendig
Messung	Räumliche Elemente werden in Entfernungen, Höhen und Formen bemaßt; Abhängig vom Element werden Sicherheitszonen um die Hindernisse definiert	Abstände und Entfernungen der 2D Umwelt werden bemaßt; Verschiedene Arten von Gelände werden identifiziert und typisiert
Metrik	Anhand räumlicher Abmessungen und Metadaten werden NDZ und LDZ abgeleitet	Anhand der Typisierung der Landschaft werden NDZ und LDZ abgeleitet

Tabelle 4.3.: Performancematrix für PI_{geo}

Mit dem Indikator PI_{geo} wird ausgesagt, inwiefern ein geographisches Gelände und dessen Luftraum für den U-Space nutzbar ist. Neben messbaren Attributen von Objekten und Hindernissen wird der Indikator PI_{geo} von Metadaten der Umgebung beeinflusst.

4.1.3 Wettervorhersage

Der Indikator PI_{wx} nutzt Daten der Services local-scale und mirco-scale. Beide Services sind im Prinzip ähnlich aufgebaut. Sie unterscheiden sich lediglich in ihrer Skalierung.

Beide Services stellen Wetterdaten und Prognosen für den DO bereit. Einerseits werden die aktuellen meteorologischen Informationen, der Nowcast, sowie zeitlich nahe Informationen, der Forecast, veröffentlicht. In beiden Fällen werden Nowcast mit dem entsprechend älteren Forecast verglichen, um somit die Güte der Prognosen zu bestimmen. Meteorologische Informationen unterliegen einer zeitlichen Änderung und müssen regelmäßig aktualisiert werden. Speziell beim mikro-skaliertem Wetterdienst ist die räumliche Auflösung auf ein Optimum zwischen Detaillierungsgrad und Berechnungszeit geregelt. Jeder Stakeholder verfügt frühzeitig über alle für ihn relevanten Wetterdaten.

Zu den Wetterinformationen zählen alle Aspekte, die in den Drone Information Services [NBJ⁺ 18] aus Seite 29 aufgeführt sind. Alle Daten werden in einem zeitlichen Turnus aktualisiert. Abhängig von der Sensorik wird eine Toleranz mit angegeben, die einen Spielraum der Genauigkeit der Messungen erlaubt.

Aus den Messungen werden Wetterkategorien und Warnung analog zur bemannten Luftfahrt ermittelt. Anhand der Kategorisierung können Sicherheitsstufen und Autorisierungen abgeleitet werden. Microskalierte Informationen werden genutzt, um die Effizienz der AV während einer Mission zu steigern und um sicherheitskritische Situationen zu vermeiden. Der Vergleich aus Forecast und aktuellem Nowcast beurteilt den Gütegrad der Wettervorhersagen. Wetterinformationen werden angepasst. Prognosen werden verifiziert oder falsifiziert.

Service	local-scale	micro-scale
Goals & Objectives	Wetterinformationen und Prognosen werden an die Drone Operator und an den SP weitergeben; Gemessene Daten des Nowcast werden mit den entsprechenden Prognosen des Forecasts verglichen	Wetterinformationen und Prognosen werden an die Drone Operator und an den SP weitergeben
CSF	Es liegen zu jedem Zeitpunkt alle relevanten Wetterinformationen für einen Bilanzraum vor; Prognosen werden frühzeitig für die Stakeholder veröffentlicht	Die räumliche Auflösung ist auf ein Optimum für den sicheren Betrieb skaliert; Prognosen werden frühzeitig für die Stakeholder veröffentlicht
Messung	Alle notwendigen Wetterinformationen werden in einer definierten zeitlichen Frequenz gemessen; Zu den Messungen wird jeweils eine Unsicherheit mit angegeben	Hohe räumliche Auflösungen erhöhen die Genauigkeit der Wetterinformationen
Metrik	Aus den Wetterinformationen werden Gebiete im Allgemeinen kategorisiert und eventuell für den Flugbetrieb gesperrt oder als LDZ deklariert; Nowcast und Forecast werden gegenübergestellt, sodass Prognosen erstellt werden; Prognosen werden anhand der gemessenen Wetterinformationen verifiziert oder falsifiziert	Anhand der räumlichen Auflösung werden Hinweise und Warnung zu meteorologischen Faktoren für den Flugbetrieb veröffentlicht; Ebenso werden Prognosen erstellt und anschließend evaluiert

Tabelle 4.4.: Performancematrix für PI_{wx}

Der Indikator PI_{wx} bestimmt die Güte der Vorhersagen für die Kategorisierung von Wetterdaten. Anhand der Kategorisierung werden Flugtrajektorien, Autorisierungen und sicherheitskritische Aspekte zu einem Zeitpunkt entschieden.

4.1.4 UAV-Anforderungen

Lediglich die Spezifikationen des AV bilden den Indikator PI_{UAV} .

Es werden alle Parameter, die das AV auszeichnen, beschrieben. Alle Informationen werden in einem Datenblatt festgehalten. Leistungsparameter des UAVs werden genutzt, um Mission zu gestalten und dienen dem DO für die Flottenplanung. Um eine Mission antreten zu dürfen, muss der DO die technischen und juristischen Anforderungen an seinem UAV nachweisen.

Neben technischen Spezifikationen des UAV werden Zustand und Wartungsintervalle in Form eines Scheckheftes dokumentiert. In diesem sind MRO-Zeitpläne und außerplanmäßige Wartung festgehalten. Zudem werden Metadaten zum UAV in die Dokumentation mit aufgenommen. Aus den technischen Details eines jeden UAVs werden mögliche Flugrouten und Missionen abgeleitet. Dafür werden die einzelnen UAVs in Kategorien nach ihrer Reichweite, Masse oder Geschwindigkeit, wie in Tabelle 2.4 gezeigt, eingeteilt. In der bemannten Luftfahrt wird dieses Prinzip bereits angewendet. AVs der bemannten Luftfahrt werden nach ihrer MTOM in Turbulenz-Klassen eingeteilt [RT15]. Zusätzlich wird aus dem Zustand des UAVs ein Wartungsplan erstellt und die MTBF einzelner Bauteile gegebenenfalls korrigiert.

Service	Characteristics
Goals & Objectives	Alle Leistungsparameter, die einem UAV zugeordnet werden können, sind beschrieben; Die Charakteristik der UAVs dient als Grundlage für die Missionsplanung; Flottenplanungen der Drone Operators ist abhängig von Leistungsparametern der UAVs
CSF	Die Konfigurationen der UAVs erfüllen die Anforderungen der Stakeholder; Alle Parameter erfüllen die technischen und juristischen Voraussetzungen, um im U-Space zu operieren
Messung	Alle technischen Details zu einem AV werden in einem Datenblatt festgehalten; MRO-Zeitpläne und Zustände des UAV werden sorgfältig dokumentiert und nachvollziehbar aufbereitet
Metrik	Anhand der Leistungsparameter werden mögliche Flugrouten und Missionen berechnet; Wartungsintervalle werden abhängig vom Zustand des AV berechnet und terminiert

Tabelle 4.5.: Performancematrix für PI_{UAV}

Leistungsparameter der UAVs werden durch den Indikator PI_{UAV} beschrieben. Dieser sagt aus, inwiefern ein bestimmtes AV die technischen Voraussetzungen besitzt, eine bestimmte Mission auszuführen. Dabei werden ebenfalls der Zustand des AVs und Energiereserven für unerwartete Ereignisse berücksichtigt.

4.1.5 UAV-Operatoren

Mit dem Indikator PI_{DO} werden ausschließlich Informationen des Services Drone Operator beschrieben.

Ein DO nutzt sein AV, um eine bestimmte Mission zu absolvieren. Im Rahmen des U-Space kann diese privat, industriell, aus öffentlichem Interesse oder aus Gründen des Search and Rescue (SaR) sein. Für jede Missionsausführung wird eine Autorisierung in Form einer Lizenz benötigt, welche dem U-Space SP vorliegen muss.

Jeder DO besitzt eine ID, die mit seiner Lizenz verknüpft ist. Neben der DO ID wird dem DO ein ACL seiner Flotte und eine entsprechende PIC ID zugeordnet. Eine Beschreibung des ACL befindet sich in Tabelle 2.3. Die vollständige Beschreibung des DO inklusive aller Metadaten wird genutzt, um den DO vom SP für einen Luftraum zu berechtigen und ihm Fluggenehmigungen auszusprechen.

Service	Drone Operator
Goals & Objectives	Der Operator nutzt den U-Space, um seine Mission für seinen Nutzen zu erfüllen;
CSF	Zum Zeitpunkt seiner Missionsausführung besitzt der DO eine gültige Lizenz;
Messung	ACL der UAV-Flotte des DO wird bestimmt; Alle Metadaten eines DO werden erfasst und für den SP offengelegt
Metrik	Anhand der spezifischen DO-Informationen werden Berechtigung und Fluggenehmigungen ermittelt

Tabelle 4.6.: Performancematrix für PI_{DO}

Durch den PI PI_{DO} wird ausgedrückt, ob ein DO die Anforderung im U-Space erfüllt, um eine spezielle Mission ausführen zu dürfen. Im Hinblick auf die Zielsetzung des U-Spaces Automatisierungsgrad hängt der PI stark vom ACL der Flotte des DOs ab.

4.1.6 Kommunikation

Im Indikator PI_{com} werden Informationen der Services Traffic Management Link und speziell des CNPLC Link verwendet.

Durch den Traffic Management Link werden Informationen und Daten zwischen den U-Space Teilnehmern ausgetauscht. Zu den Teilnehmern zählen die GCS, die UAVs, das UTM und das ATC. Der Transfer von Informationen geschieht mittels standardisierter Hard- und Software. Jeder Stakeholder im System muss daher über die technische Ausrüstung verfügen, um im U-Space zu kommunizieren. Die technische Ausrüstung wird redundant ausgeführt, sodass die Auftrittswahrscheinlichkeit eines LoC auf ein Minimum beschränkt wird. Zusätzlich muss das Übertragungssystem derartig gestaltet sein, dass die Übertragungsraten ausreichend hoch sind, um alle Informationen in Echtzeit zu erhalten, um sie anschließend zeitnah zu verarbeiten.

Diese Übertragungsraten können direkt in Form von Bytes pro Sekunde gemessen werden. Neben dem wird eine Latenz für ein Signal gemessen. Dadurch wird ein zeitlicher Verzug des Datenaustausches berechnet. Schließlich wird die Qualität der Signale ermittelt. Diese hängt von Störsignalen oder anderen Störungen im System ab. Resistente und ausfallsichere Übertragungen begünstigen die operationelle Sicherheit. Aus der Latenz und der Antwortzeit des Empfängers wird die Effektivität eines Übertragungskanals bemessen.

Der CNPLC Link bildet die Schnittstelle von GCS und UAV ab. Eine Kommunikationsschnittstelle zwischen AV und Bodenstation ist während einer Mission durchgehend vorhanden. Übertragungen außer der Reichweite von bestimmten Radiofrequenzen kann nicht mehr mittelbar erfolgen, sondern wird durch weitere Übertragungsglieder abgewickelt, siehe dazu BRLOS in Kapitel 2.3. Durch entsprechende Systemarchitektur wird eine stetige Verbindung beider Beteiligten abgesichert. Ebenso wird das System gegen Manipulation von außen konzipiert. Fehlsignale werden gefiltert. Somit wird die Ausfallwahrscheinlichkeit des CNPLC Links auf ein akzeptiertes Minimum reduziert.

Ausfallzeiten und die Zeit zur Wiederherstellung der Verbindung werden direkt gemessen. Zusätzlich werden die aus dem Traffic Management Link gemessenen Daten ebenso für den CNPLC Link aufgenommen. Analog wird eine Verfügbarkeit und eine Robustheit der Übertragung ermittelt.

Service	Traffic Management Link	CNPLC Link
Goals & Objectives	Kommunikation zwischen den einzelnen Systemteilnehmer - GCS, UAV, UTM und ATC - wird gewährleistet; Jeder Stakeholder verfügt über technische Ausrüstung, um über die standardisierte Schnittstelle zu kommunizieren	Stetige funktionstüchtige Schnittstelle zwischen GCS und UAV; BRLOS Kommunikation ist erforderlich
CSF	Redundante Hardware beugt LoC vor; Übertragungsraten sind genügend hoch, um alle Informationen in Echtzeit zu erhalten und zu verarbeiten	Äußeren Störfaktoren wird durch passende Systemarchitektur entgegengewirkt; Das System ist gegen Manipulation robust; Die Ausfallwahrscheinlichkeit ist ausreichend klein
Messung	Übertragungsraten und Latenzen werden gemessen; Störsignale im Kommunikationsnetz werden erkannt und lokalisiert; Qualität der Sprachnachrichten wird quantifiziert	Ausfallzeiten und Wiederherstellungszeiten von Verbindungen werden ermittelt
Metrik	Aus den Messungen wird eine operationelle Sicherheit abgeleitet; Antwortzeiten zweier oder mehrere Kommunikationsteilnehmer schließen auf die Qualität der Übertragungen	Verfügbarkeit und Robustheit gegenüber Störungen werden anhand der Ausfallzeiten berechnet

Tabelle 4.7.: Performancematrix für PI_{com}

Im Allgemeinen beschreibt der Indikator PI_{com} das Verhalten eines Übertragungssignals im U-Space. Das Übertragungssignal wird charakterisiert durch die Latenz, Übertragungsrate, Übertragungsqualität, Ausfall- und Wiederherstellungszeiten.

4.1.7 Navigation

Für den Indikator PI_{nav} werden vier Services genutzt. Dazu zählen Navigation Aids, Signals of Opportunity, Vision-based Navigation und Obstacles to Drone Navigation.

Verschiedene Navigationsmöglichkeiten, die teilweise aus der bemannten Luftfahrt übernommen werden können, stellen für das SWAP im U-Space neue Probleme dar. Aus diesem Grund werden verschiedene Konzepte verglichen und evaluiert. Untereinander dürfen sich die diversen Konzepte zur Navigation nicht in ihrer Funktionalität beeinträchtigen. Aufgrund des SWAP von UAVs werden für die Navigationssysteme neue Skalen verwendet, die ebenso gegen äußere Störfaktoren resistent sind.

Navigationssysteme bestimmen die möglichst exakte Position im Luftraum. Zusätzlich wird der kinematische Zustand des AVs bestimmt. Aus Position und Bewegung wird ein ortsgebundener Vektor für jedes AV zu einem Zeitpunkt erstellt. Der Vektor wird abhängig vom Navigationssystem mit einer Unsicherheit beaufschlagt, sodass das AV für die Verkehrsplanung als ein dreidimensionaler Körper behandelt werden kann. Je besser die Navigationseigenschaften des UAVs sind, desto kleiner fallen die Unsicherheiten aus und desto weniger Sicherheitsabstand benötigt das UAV zu anderen Verkehrsteilnehmern.

Das SoO verfolgt den Ansatz einer Sensorfusion. Verschiedene RF werden kombiniert, um ein redundantes Signal zu erhalten. Dies hat den Vorteil, dass trotz Ausfall einer RF Quelle kein Verlust der Navigation entsteht, wie beispielsweise ein LoG. Durch die Fusion mehrere Navigationssysteme wird eine erhöhte Genauigkeit der Positionsbestimmung verfolgt.

Ebenso werden Position und kinematischer Zustand des UAVs bestimmt. Zusätzlich können Wetterinformationen ermittelt werden, um den Service micro-scale Wetter mit Echtdaten zu unterstützen. Es wird analog eine möglichst exakte Position und ein gebundene Geschwindigkeitsvektor erstellt, der Kinematik des UAV im Raum bestimmt.

Service	Navigation Aids	Signals of Opportunity
Goals & Objectives	Es werden verschiedene Navigationsmöglichkeiten genutzt, um das UAV sicher zu operieren; Einzelne Navigationslösungen werden miteinander verglichen und evaluiert	Verschiedene RF werden genutzt, eine Kombination verschiedener Navigationssysteme zu erreichen
CSF	Aufgrund der Größenordnung von SWAP müssen technische Lösungen solide und resistent gegen äußere Faktoren konzipiert werden; Der Service nutzt geographische Karten, um die Navigation zu optimieren; Verschiedene Navigationstechnologien dürfen sich nicht beeinträchtigen	SoO funktioniert trotz Ausfall einer RF Quelle; Die Genauigkeit ist ausreichend gut
Messung	Es werden 3D Position und kinematische Zustände aus den Navigationsquellen zum UAV erhoben	Es werden 3D Position und kinematische Zustände aus den Navigationsquellen zum UAV erhoben; Zusätzlich können Wetterinformationen mit aufgenommen werden
Metrik	Aus verschiedenen Navigationsquellen wird eine aktuelle Position bestimmt; Mithilfe des kinematischen Zustandes wird ein ortsgebundener Vektor für das AV erstellt	SoO unterstützt die Navigation, indem exakte Position sowie eine zeitliche Trajektorie in Form eines Vektors ermittelt werden

Tabelle 4.8.: Performancematrix für PI_{nav} 1 von 2

Bei der Vision-Based Navigation orientiert sich das UAV im Raum durch optische Sensoren. Eine Software berechnet anhand eines Video-Inputs die Position. Dafür muss ein visueller Kontakt zur Umgebung bestehen. Starke Wettereinflüsse wie Nebel beeinflussen die EO-Sensoren-Funktionalität. EO-Sensoren müssen ausreichend genau sein und dürfen andere Navigationssysteme nicht in ihrer Funktion beeinträchtigen.

Ein EO-Sensor erzeugt ein digitales visuelles Bild der Umgebung. Der Video-Input wird gegebenenfalls gefiltert und bearbeitet. Aus dem Videobild berechnet eine Software die Position des UAV, die Geschwindigkeit und erzeugt eine Abbildung der Umgebung inklusive Hindernissen und natürlichen und urbanen Objekten.

Nicht jedes Hindernis ist in einer Datenbank hinterlegt. Temporäre Barrieren werden von Sensoren On-Board in Echtzeit detektiert. Anhand der Gestalt des Hindernisses werden Gegenmaßnahmen eingeleitet. Dafür ist es notwendig, dass Hindernisse in der Flugtrajektorie frühzeitig erkannt werden, um einer sicherheitskritischen Situation entgegenzuwirken. Unbekannte Objekte werden an den U-Space übermittelt.

Position, Bewegung und Gestalt werden von Sensoren ermittelt. Anhand der Messungen wird der Typ des Objektes bestimmt und kategorisiert. Je nach Typ werden unterschiedliche Maßnahmen ergriffen, um einen sicheren Weiterflug zu ermöglichen.

Service	Vision-based Navigation	Obstacles to Drone Navigation
Goals & Objectives	Das Vorgehen basiert auf dem visuellen Kontakt von UAV und Umgebung; Aus einem Video-Input werden in Echtzeit Umgebungsdetails berechnet	Auf Kartenmaterial nicht hinterlegte Hindernisse werden durch Navigationssensoren detektiert und gemeldet; Umfang, Bewegung und Art des Hindernisses werden identifiziert
CSF	Das AV, bzw. der EO Sensor, hat visuellen Kontakt mit einem Hindernis oder anderen AVs; Navigation aus EO Sensoren ist ausreichend genau; EO Sensoren dürfen nicht andere Systeme oder andere AVs in ihrer Funktion negativ beeinträchtigen	Hindernisse werden frühzeitig detektiert, sodass reagiert werden kann
Messung	Es wird durch den EO Sensor ein digitales Bild erzeugt, das gegebenenfalls für die weiteren Berechnungen aufbereitet wird	Das Erscheinen von unbekanntem Objekten werden erfasst und berichtet; Position und kinematischer Zustand des Hindernisses wird erkannt
Metrik	Aus den optisch-erfassten Daten wird eine 3D Position ausgewertet; Aufgenommenen Daten werden genutzt, um vorhandene geographisches Material zu taxieren	Aus den Messungen wird das Objekt kategorisiert und beurteilt, ob es sich um ein Hindernis handelt, bei dem eine zusätzliche Aktion notwendig ist

Tabelle 4.9.: Performancematrix für PI_{nav} 2 von 2

Die Genauigkeit und die Akkuratess der Navigation wird mit dem Indikator PI_{nav} ausgedrückt. Gute Navigation zeichnet sich durch exakte Positionsbestimmung aus. Geringe Unsicherheiten in der Positionsbestimmung ermöglichen ein erhöhtes Verkehrsaufkommen.

4.1.8 Überwachung

Der Indikator PI_{surv} berücksichtigt ausschließlich den Service Traffic Surveillance.

Die Aufgabe des Service ist die Überwachung und Kontrolle des Verkehrsgeschehen im U-Space. Mitunter wird der bemannte Luftraum berücksichtigt. Zu jeder Zeit liegen Informationen zur Position und Flugtrajektorie jedes UAVs vor. Alle Informationen werden in Echtzeit geteilt.

Als Messungen dienen die Informationen der Kommunikation und Navigation. Für den Luftraum entsteht ein Gesamtbild, das alle Verkehrsteilnehmer beinhaltet. Anhand der Güte der Sensor- und Emitterleistung eines jeden einzelnen AVs wird ein maximale AV-Dichte in einem Luftraum berechnet. Durch den Vergleich von aktuell im Luftraum befindlichen UAVs und der Kapazität des Luftraumes werden lokale kritische Stellen mit erhöhtem Verkehrsaufkommen festgestellt. Über den Luftraum verteilt entsteht eine Auslastungsverteilung.

Service	Traffic Surveillance
Goals & Objectives	Das Verkehrsgeschehen wird kontrolliert und überwacht; Neben der Überwachung von UAVs wird die bemannte Luftfahrt berücksichtigt
CSF	Der Service weiß zu jeder Zeit die Position und den kinematischen Zustand aller AVs im Bilanzraum; Alle Informationen liegen in Echtzeit vor
Messung	Messungen der Überwachung stellen eine Schnittstelle zur Kommunikation und Navigation dar, da aus gewonnen Informationen der erwähnten Services ein Gesamtbild der Positionen und Flugvektoren der UAVs entsteht; Die maximale AV-Dichte in einem betrachteten Luftraum wird ermittelt
Metrik	Es werden anhand des Verkehrsaufkommens kritische Stellen mit hohem Verkehrsaufkommen festgestellt; Eine Auslastungsverteilung über dem Luftraum wird bereitgestellt

Tabelle 4.10.: Performancematrix für PI_{surv}

Mit dem Indikator PI_{surv} wird die aktuelle Kenntnis über alle Verkehrsteilnehmer in einem Luftraum beschrieben. Volles Situationsbewusstsein ist erst erreicht, wenn der U-Space über alle Informationen jeder einzelnen UAV in Echtzeit verfügt.

4.1.9 Planning Operationen

Der Indikator PI_{plan} wird durch den Service Flight Planning, Traffic Planning und Mission Planning charakterisiert.

Eine Flugplanung besteht aus einer definierten Route vom Start zum Zielhafen. Die Planung der Route hängt von verschiedenen Parametern ab. Einerseits wird die zeit- und energieeffizienteste Verbindung gewählt. Andererseits muss auf den aktuellen Verkehr eingegangen werden, um mögliche Kollisionen oder Engpässe im Luftraum zu vermeiden. Gegebenenfalls muss eine Flugroute eines Linienfluges aufgrund genannter Faktoren geändert werden. Abgeschlossene Planungen werden an die DO und den U-Space weitergegeben.

Es wird die Entfernung von Start und Ziel aus Datenbanken entnommen. Zeitgleich müssen das Wetter und der Verkehr berücksichtigt werden. Unter Berücksichtigung der UAV Leistungsparametern und der Einsatzumgebung wird die optimale Flugroute ausgewählt. Zur Flugroute zählen sämtliche Notfallpläne im Falle eines Loss of X (LoX). Mit LoX werden sämtliche Verluste von Funktionen und Navigation gezählt.

Mit dem Traffic Planning wird die Zuteilung im Luftraum geregelt. Dies beinhaltet eine horizontale und vertikale Separation abhängig von der UAV Kategorisierung. Zudem werden Geschwindigkeiten und Lufträume zugeteilt. Jede Flugesuche wird gleichermaßen und fair behandelt. Es werden keine Flüge ohne flight approval durchgeführt. Die Verkehrsplanung unterstützt die Flugplanung.

Alle Flugesuchen für den Luftraum werden erfasst. Aus dem Traffic Surveillance werden Kapazitäten und Ausnutzungen für die Lufträume bestimmt. Aus den Anfragen und verfügbaren Kapazitäten im Luftraum werden Statistiken erstellt, die Verkehrsmaxima und -minima beschreiben. Aus diesen Metriken werden Missionsplanungen und Flugplanungen unterstützt.

Jede Mission verfolgt einen Nutzen. Eine Missionsplanung wird vor dem Flug abgeschlossen. Im Missionsauftrag werden alle Informationen zur Mission und ihrer Flugplanung selbst, sowie zum DO, zum AV und zur PL festgehalten. Nur genehmigte Missionen können einen Flug antreten. Änderungen der Mission werden unmittelbar an die Flugplanung weitergegeben.

Es werden Informationen zum AV und der PL erfasst. Der Nutzen, beziehungsweise das Ziel, der Mission wird festgehalten und kategorisiert. Auf Grundlage der Missionskategorie wird eine Dringlichkeit und ein Stellenwert der Mission hergeleitet. Metadaten der Mission unterstützen die Verkehrs- und Flugplanung.

Service	Flight Planning	Traffic Planning	Mission Planning
Goals & Objectives	Bei der Flugplanung werden Routen vom Start zum Zielhafen errechnet; Umplanungen werden gegebenenfalls durchgeführt	Bestimmt die Zuteilung im Luftraum; Verkehrsplanungen unterstützen die Flugplanungen	Die Missionsplanung beinhaltet Informationen zum Auftrag, der UAV, der PL und der Flugplanung
CSF	Flugbahnen finden im Optimalfall auf einer sicheren und kollisionsfreien Route statt; Errechnete Routen werden vor Missionsantritt bereitgestellt	Es werden alle Anfragen im Luftraum gleichermaßen fair behandelt; Es wird kein Flug ohne <i>flight approval</i> durchgeführt	Eine Mission muss derart geplant sein, dass sie innerhalb des U-Spaces eine Freigabe erhält; Änderungen der Mission werden unmittelbar an die Flugplanung weitergegeben
Messung	Es wird auf Navigationselemente zurückgegriffen, um die Entfernung von Start und Ziel zu berechnen; Auf Basis alter Flugrouten und deren Ausführungen werden zukünftige Flugrouten gestaltet	Alle Anfragen für den Luftraum werden erfasst; Die Ausnutzung der Lufträume wird von der Traffic Surveillance für die Kapazitätenberechnung verwendet	Es werden Informationen zum verwendeten AV und der PL erfasst; Das Ziel der Mission wird registriert
Metrik	Aus Entfernungen und UAV Charakteristiken werden die optimalen Flugrouten ermittelt; Notfallpläne für die Route werden erstellt	Es wird ein Verhältnis von Flugesuchen und Kapazitäten bestimmt; Es werden Statistiken erfasst, in denen Zeitpunkte sehr hohen Verkehrs ableitbar sind	Aus den Details wird die Mission in eine Kategorie einsortiert; Nach der Kategorisierung wird eine Dringlichkeit und der Stellenwert der Mission hergeleitet

Tabelle 4.11.: Performancematrix für PI_{plan}

Der Indikator PI_{pre} sagt aus, wie gut Pre-Flight Operationen durchgeführt werden. Alle Prozesse und Planungen, die vor dem Flug ausgeführt werden, haben Einfluss auf das Verkehrsaufkommen und die Sicherheit im U-Space.

4.1.10 In-Flight Separation und Ausführung

Die Separation und Staffelung von UAVs einer Mission während eines Fluges wird durch das Traffic Control und das Flightmanagement beschrieben und durch den Indikator PI_{sepa} indiziert.

Mit dem Traffic Control wird durchgehend die Staffelung der UAVs im Luftraum geregelt. Der Service sorgt dafür, dass die UAVs ihre Missionen ausführen können, ohne mit anderen Verkehrsteilnehmern in einen Konflikt zu geraten. Bei hoher Auslastung des Luftraumes sind Merging Conflict zu vermeiden. Es ist für den Service zwingend notwendig, alle Informationen, die ein UAV und seine Mission auszeichnen, in Echtzeit vorliegen zu haben. Fehlende Informationen werden schnellstmöglich ermittelt. Unbekannte AVs im Luftraum werden erfasst und im System eingeordnet.

Zu jeder durchgeführten Mission werden die Leistungsparameter des UAVs aufgenommen. Mit den Informationen der Mission weiß der Service über die Flugroute Bescheid. Es entsteht ein Gesamtbild des Luftraumes und dessen Verkehrsteilnehmern. Aus den Leistungsparametern der UAV werden Separationsminima bestimmt, mit denen das UAV im Luftraum operieren kann. Falls durch eine Konfliktsituation der Mindestabstand nicht weiter gewährleistet werden kann, wird eine Meldung an das Flight Management ausgegeben.

Das Ziel des Flight Management ist die Korrektur von Flugtrajektorien, die ursprünglich von GCS und PIC bestimmt sind. In Notfallsituationen steuert das Flight Management mit dem Contingency Management den Verkehr, sodass alle weiteren Verkehrsteilnehmer wie geplant ihre Missionen beenden können. Für den Fall des LoL übernimmt das ELT die Kontrolle über das AV. In allen Entscheidungen des Flight Management werden nicht genehmigte Lufträume für das UAV berücksichtigt.

Ähnlich zum Traffic Control werden die Leistungsparameter des UAVs aufgenommen. Dazu zählen der AV Status, Avionik, CNS und der Antriebszustand. Durch den Vergleich von Daten der Missions-, Flug- und Verkehrsplanung und den aktuellen Parametern des UAVs wird eine Abweichung vom Soll-Wert ermittelt. Das Flight Management regelt abhängig von der Differenz das UAV erneut in die vorgesehene Position im Luftraum. Dadurch wird die Einhaltung der Trajektorie überprüft und gegebenenfalls wiederhergestellt.

Service	Traffic Control	Flight Management
Goals & Objectives	Es werden durchgehend die die Separationsminima überwacht und kontrolliert; Potentielle Gefahrensituationen werden frühstmöglich aufgelöst	PIC und GCS bestimmen die zu fliegende Trajektorie; In Notfallsituationen steuert es die Abweichung vom ursprünglich geplanten Flug
CSF	Es darf kein Merging Conflict entstehen; Zu jedem Zeitpunkt ist der Service sich über aktuelle Situation bewusst; Unbekannte AVs werden schnellstmöglich erfasst	Im Fall eines LoL muss das ELT die Kontrolle über das AV übernehmen; Es wird verhindert, in einen nicht genehmigten Luftraum zu fliegen
Messung	Es werden alle aktuellen Missionen aufgenommen; Zu jeder Mission wird der ursprüngliche Ablauf aus der Flugplanung übernommen	Es werden der AV Status, Avionik, CNS und Antriebszustand überwacht
Metrik	Staffelungen und Mindestabstände von Verkehrsteilnehmer werden beurteilt; Kritische Situationen durch zu hohes Verkehrsaufkommen und die dadurch verbundenen potentiellen Merging Conflicts werden in Mitteilungen festgehalten	Aus dem Vergleich von AV Status und dessen Position im Luftraum und den Vorgaben aus der Flugplanung wird eine Abweichung ermittelt

Tabelle 4.12.: Performancematrix für PI_{sepa}

Durch den Indikator PI_{sepa} wird ausgesagt, inwiefern die Staffelung abhängig von den Separationsminima funktioniert. Beim Unterschreiten der Mindestabstände der Verkehrsteilnehmer werden Gegenmaßnahmen ergriffen, um die geforderte Staffelung wieder zu erreichen.

4.1.11 In-Flight Konformität

Durch die Services Mission Execution and Conformance Monitoring und Flight Plan Conformance Monitoring wird der Indikator PI_{konf} beschrieben.

Während der Missionsausführung gleicht das Mission Execution and Conformance Monitoring die aktuell ausgeführte Mission mit der ursprünglichen Missionsplanung ab. In Etappen wird der Fortschritt der Mission an den U-Space berichtet. Ein Bericht beinhaltet alle relevanten Informationen zur Mission. Den Fortschritt der aktuellen Mission erhält der Service durch die Messungen und Systemausgänge anderer Services.

Sowohl die Ist- wie die Soll-Daten der aktuellen Mission werden von verschiedenen Messungen weiterer Services entnommen. Vorgabewerte für die Ausführung werden von der Flugplanung und Missionsplanung übernommen. Aus der Navigation und dem Traffic Control wird die laufende Position und Trajektorie des UAV übernommen. Mit dem Abgleich von Erwartung und Echtdaten wird der Fortschritt berechnet. Missionsabschnitte werden in Meilensteine unterteilt.

Vor Antritt einer Mission erhält der DO eine Genehmigung für die Durchführung eines Fluges im Luftraum des U-Spaces. Mit dem Flight Plan Conformance Monitoring wird überprüft, ob der DO seinen aktuellen Flug wie beschrieben in seinem Missionsplan durchführt, oder ob der DO außerhalb seiner Erlaubnis operiert. Bei seiner Ausführung steht dem DO ein Luftkorridor mit einer abhängigen Unsicherheit zur Verfügung. Die Unsicherheit der UAV wird durch die technische Ausrüstung der Software und Hardware bestimmt. Das Maß des Korridors hängt größtenteils vom ACL und den UAV Spezifikationen ab.

Für die Unsicherheit, in der sich der DO im Luftraum bewegen darf, werden Navigationsfähigkeit des UAVs und Wetterbedingungen gemessen. Beide Datenpakete werden von entsprechenden Services entnommen. Innerhalb eines Toleranzbandes wird ein Maß der Güte der Missionsausführung bestimmt. Je präziser der DO seine Mission im Luftraum ausführen kann, desto niedriger fällt seine Risikoklasse aus.

Service	Mission Execution and Conformance Monitoring	Flight Plan Conformance Monitoring
Goals & Objectives	Die aktuell ausgeführte Mission wird mit dem ursprünglichen Missionsplan verglichen; In Etappen wird der Missionsfortschritt an den U-Space berichtet	Der DO wird überprüft, ob er seine Mission im Rahmen seiner genehmigten Lufträume durchführt
CSF	Dem Service liegen alle Informationen zur geplanten Mission vor; Er erhält von anderen Services Daten zum aktuellen Verlauf einer Mission	Der DO muss seine Operationen in einem definierten und mit Unsicherheiten befangenen Luftkorridor ausführen
Messung	Aktuelle und geplante Missionsdetails werden aufgenommen	Navigationsfähigkeit des missionsausführenden AVs und Wetterbedingungen werden gemessen
Metrik	Aus dem Abgleich von Ist und Soll-Daten wird das Erreichen von Etappen und Missionsabschnitten begründet	Anhand der möglichen ausführbaren Performance durch gemessene Realdaten wird eine Effizienz der Missionsausführung bestimmt

Tabelle 4.13.: Performancematrix für PI_{konf}

Durch den Indikator PI_{konf} wird ausgesagt, wie gut eine Mission im Vergleich zu ihrem ursprünglichen Flugplan ausgeführt wird. Eine präzise und akkurate Umsetzung der geplanten Etappen einer Mission bedeuten eine hohe Wertung der PIs.

4.1.12 Post-Flight Operationen

Aufzeichnungen vom Flug, der Missionen und dem Verkehr finden nach der Ausführung einer Mission statt und werden im System als Indikator PI_{post} aufgeführt.

Bei allen drei Services Flight, Traffic und Mission Data Recording werden die Daten einer vollständigen Operation aufgezeichnet und auf Datenträgern hinterlegt. Die Aufnahme erfolgt durch ein zertifiziertes Data Recording System. Untereinander werden die drei Services in der Art der Daten unterschieden.

Durch das Flight Data Recording werden Leistungsparameter der UAV und meteorologische Daten aufgezeichnet und abgespeichert. Mit diesem Datenpaket wird ein bestimmter Flug beschrieben. Auf Grundlage des vorliegenden Materials werden Fehleranalysen und Fluguntersuchungen durchgeführt. Dieser Ansatz wird mit dem Ziel verfolgt, einerseits um Flugrouten und Planungen zu optimieren, andererseits um Unfälle aufzuarbeiten und zu klären.

Ähnliche Daten werden vom Traffic Data Recording aufgenommen. Alle Entscheidungen und Ausführungen in Bezug auf den Verkehr werden gemessen. Das Traffic Control ist die primäre Informationsquelle von Verkehrsaktivitäten. Im Anschluss wird das Material für Simulationen und Optimierungen für zukünftige Planungen von Missionen, Flug und Verkehr im U-Space genutzt.

Durch das Mission Data Recording werden missionsspezifische Informationen erfasst. Vollständige Beschreibungen der Missionen werden vom Mission Planning übernommen. Anhand dieser Daten werden Risikoanalysen aufgestellt.

Service	Flight Data Recording	Traffic Data Recording	Mission Data Recording
Goals & Objectives	Flugdaten werden aufgezeichnet und auf Datenträgern hinterlegt; Die Aufnahme erfolgt durch ein zertifiziertes Data Recording System	Verkehrsdaten werden aufgezeichnet und auf Datenträgern hinterlegt; Die Aufnahme erfolgt durch ein zertifiziertes Data Recording System	Missionsdaten werden aufgezeichnet und auf Datenträgern hinterlegt; Die Aufnahme erfolgt durch ein zertifiziertes Data Recording System
CSF	Alle notwendigen Flugdaten werden aufgenommen	Alle notwendigen Verkehrsdaten werden aufgenommen	Alle notwendigen Missionsdaten werden aufgenommen
Messung	Leistungsparameter und meteorologische Daten werden gemessen und gespeichert	Entscheidungen und Anweisungen vom U-Space werden dokumentiert	Der DO dokumentiert alle missionspezifischen Daten
Metrik	Auf Grundlage des vorhandenen Materials werden Fehleranalysen und Fluguntersuchungen durchgeführt	Aktionen des U-Space werden gesammelt und für Simulationen und Optimierungen genutzt	Missionsinformationen werden von Versicherungen genutzt, um Vertragskonditionen auszuhandeln und Risikoanalysen durchzuführen

Tabelle 4.14.: Performancematrix für PI_{post}

Aufzeichnungen und Abspeicherungen von abgeschlossenen Operationen im U-Space werden durch den Indikator PI_{post} beschrieben. Durch eine effiziente und funktionierende Nachbearbeitung einer abgeschlossenen Mission wird der PI erfüllt.

4.1.13 Notfallhandlungen

Der Indikator PI_{emerg} beschreibt Notfallhandlungen und wird durch die Services Contingency Planning und Contingency Management gebildet.

Notfallpläne sind ein Teil der Flugplanung. Abhängig von den Spezifikationen und der Einsatzumgebung werden mögliche Szenarien für einen LoX geplant. In jeder Phase einer Mission wird in einem Notfall eine entsprechende Gegenmaßnahme entworfen.

Um situationsbedingte Entscheidungen zu planen, werden Leistungsparameter des AVs benötigt. Für eine sichere und konfliktfreie Notfallhandlung müssen geographische und meteorologische Aspekte betrachtet werden. Zusätzlich unterstützen Verkehrsinformationen die Berechnung von Auftrittswahrscheinlichkeiten eines LoX. Verschiedenen Systemteilen werden Bedeutungen und Gegenmaßnahmen zugeschrieben.

Das Contingency Management unterstützt den PIC, falls ein Notfall eintritt. Der PIC wird über seine Möglichkeiten im Rahmen seiner Situation informiert. Ihm wird eine Notfalltrajektorie angeboten, die aufgrund seiner versagten Systemelemente noch möglich ist. Sobald ein Notfall eines AVs eintritt, wird dieser unmittelbar an den U-Space übermittelt. Notfälle werden nach einem definierten Ablauf abgearbeitet.

Fehlerhafte Systemelemente und Komponenten werden erfasst, um mögliche Handlungen zu evaluieren. Für das Contingency Management muss zusätzlich die Einsatzumgebung berücksichtigt werden, sodass konfliktfrei das UAV in einen sicheren Zustand überführt werden kann. Dafür wird ein Notfallplan kalkuliert, bei dem das Schadensrisiko am niedrigsten ist.

Service	Contingency Planning	Contingency Management
Goals & Objectives	Für jeden Notfall wird eine Rettungsplan zu jedem Zeitpunkt der Mission entworfen; Notfallpläne werden unter Berücksichtigung der Spezifikationen der AVs erstellt	Unterstützt den PIC; Informiert über mögliche Szenarien und Notfalltrajektorien; Teilt ein Notfallereignis anderen U-Space Teilnehmern mit
CSF	Szenarien für jeden LoX werden kalkuliert	Das Eintreten eines LoX wird direkt in einer Notfallprozedur bearbeitet; Es wird der kritische Zustand beurteilt
Messung	Leistungsparameter des AVs werden benötigt; Kritische geographische Umgebungen und meteorologische Ereignisse werden detektiert	Es werden die fehlerhaften Systeme und Komponenten ermittelt; Äußere Faktoren, die den Notfallplan beeinträchtigen können, werden berücksichtigt
Metrik	Aus den Messungen werden Eintrittswahrscheinlichkeiten für jeden LoX bestimmt	Es wird der Notfallplan kalkuliert, bei dem das Schadensrisiko am niedrigsten ist

Tabelle 4.15.: Performancematrix für PI_{emerg}

Der Indikator PI_{emerg} stellt einen sicherheitskritischen Parameter dar. Durch ihn wird ausgedrückt, wie gut mit dem Versagen von Bauteilen oder einem LoX umgegangen wird. Sichere Rückführungen in einen stabilen Zustand des AVs zeigt sich in einer hohen Wertung des PIs.

4.1.14 Mitteilungen

Alle Mitteilungen und Benachrichtigungen innerhalb des Systems werden durch den Indikator PI_{note} beschrieben.

Ein NOTAM, beziehungsweise im U-Space ein NOTDO, informiert die Stakeholder über besondere Umstände, die ihre Mission beeinflussen kann. NOTDOs sind nicht zwingend sicherheitskritisch, fördern jedoch das Situationsbewusstsein der Stakeholder, insbesondere das der DOs.

NOTAMs/NOTDOs sind temporäre Abweichungen und Anomalien in der Einsatzumgebung. Nach Erfassung einer Differenz zwischen Soll und Ist wird der DO über den aktuellen Zustand informiert. Der DO beurteilt die Situation und leitet gegebenenfalls zusätzliche Maßnahmen ein, um seine Missionen weiterhin ausführen zu können.

Reminders, warnings und alerts richten sich an den DO. Es wird ausschließlich über Systemänderungen berichtet, die eine unmittelbare Gegenaktion erfordern. Aus den Benachrichtigungen, die der DO erhalten hat, kann der DO Gegenmaßnahmen ableiten.

Aus allen operativen Informationen die Pre-, In- und Post-Flight betreffen, werden systemrelevante Änderungen, die eine Handlung des DO erfordert, gefiltert. Eine Benachrichtigung ist derart aufgebaut, dass der DO ableiten kann, welche Aktion eingeleitet werden muss, um sein operatives Geschäft weiter betreiben zu können.

Service	NOTAM	Reminders, warnings, alerts
Goals & Objectives	Außergewöhnliche Umstände werde mitgeteilt	Sie werden direkt an einen DO gerichtet; Es wird ausschließlich über Systemänderungen berichtet, die unmittelbare Gegenaktionen erfordern
CSF	Ein NOTAM fördert das Situationsbewusstsein eines DO in einer bestimmten Situation	Der DO kann aus der Mitteilung eine Gegenmaßnahme ableiten
Messung	Abweichungen und Anomalien zum Standard werden als NOTAM verfasst	Alle operativen Informationen aus Pre-Flight, In-Flight und Post-Flight werden ermittelt
Metrik	Anhand von DO und dessen aktueller Zustand wird beurteilt, welche Notwendigkeit das NOTAM besitzt, um den DO in seiner Tätigkeit zu unterstützen	Der DO erkennt, in welchem Teil seines operativen Systems eine Aktion durchgeführt werden muss

Tabelle 4.16.: Performancematrix für PI_{note}

Mitteilungen, die primär den DO über Systemänderungen informieren, werden durch den Indikator PI_{note} beschrieben. Alle Benachrichtigungen sollen das Situationsbewusstsein der Stakeholder im U-Space erhöhen.

4.1.15 Gesetzeskonformität

Das Law Enforcement ist der einzige Service, der den Indikator PI_{law} kennzeichnet.

Mit diesem Service wird überprüft, ob alle Aktivitäten im U-Space nach den verabschiedeten Gesetzen durchgeführt werden. Jeder Flug benötigt ein flight approval. DO und UAV dürfen nicht ohne gültige Lizenzen operieren. Bei einem Verstoß gegen die Gesetze wird das Vergehen einer verantwortlichen Person zugeordnet.

Aus den aufgenommenen Daten, die nach jeder Mission durch ein Data Recording System aufgezeichnet sind, wird ein Abgleich angestellt. Dieser Abgleich beurteilt aus juristischer Sicht Vorgänge und Entscheidungen, die im U-Space getroffen sind. Verstöße werden mit einer Warnung oder einem Bußgeld behandelt. Mit einer Statistik aller Verstöße, die auf den Aufzeichnungen basiert, können Systemänderungen oder Richtlinien umstrukturiert und angepasst.

Service	Law Enforcement
Goals & Objectives	Es wird überprüft, ob alle Aktivitäten des U-Space nach dem verabschiedeten Gesetz durchgeführt werden
CSF	Ein Verstoß wird einer verantwortlichen Person zugeordnet
Messung	Aufgenommene Daten aus den Recordern werden für Nachbearbeitungen genutzt; Daten der Aufzeichnungen werden unter Berücksichtigung des Regelwerkes geprüft
Metrik	Wird ein Verstoß registriert, so wird eine Warnung und ein Bußgeld an den DO verhängt; Erstellen von Statistiken

Tabelle 4.17.: Performancematrix für PI_{law}

Der Indikator PI_{law} sagt aus, inwiefern alle Gesetzesverstöße detektiert werden. Zudem fließt in den PI die Ahndung von Verstößen ein. Durch den Indikator wird die juristische Einhaltung im U-Space überwacht.

4.1.16 Risiko und Versicherungsanalysen

Der Performance Indikator PI_{risk} wird durch den Service Risk and Insurance beschrieben.

Für jede Mission wird individuell ein Risiko ermittelt. Aus den Risikoklassen werden die Konditionen der Versicherungen berechnet. Je höher das Risiko einer Mission eingestuft wird, desto höher fallen die Versicherungsbeiträge aus. Der DO entscheidet, ob er eine Mission auf Grundlage der Risikoklasse antreten will, oder ob er eine Mission neu ansetzt, um die Risiken zu senken und somit Versicherungsbeiträge zu senken.

Um die Missionen in Risikoklassen einzuteilen, benötigt der Service Informationen über die MTOM des UAVs, Wetterprognosen und Trajektorien der Flugplanungen. Aus diesen Parametern wird ein Flight Risk Factor für jede Mission bestimmt.

Service	Special Authorization and Exemptions
Goals & Objectives	Jede Mission wird in Risikoklassen eingeteilt; Basierend auf den Risikoklassen werden die Konditionen der Versicherungen ausgehandelt
CSF	Alle notwendigen Informationen zur Bestimmung der Parameter für die Risikoklassen liegen vor
Messung	Es wird die MTOM gemessen; Aus den Services Weather und Mission-planning werden Wettervorhersagen und Flugplanungen entnommen
Metrik	Aus den Messungen wird ein Flight Risk Factor ermittelt, der eine geplante Mission in Risikoklassen einteilt

Tabelle 4.18.: Performancematrix für PI_{risk}

Der Indikator PI_{risk} ist ein Indikator für das Risikoniveau einer speziellen Mission. Damit wird ausgesagt, wie wahrscheinlich ein Notfall bis hin zu einem Schadensfall auf der Flugroute ist.

4.1.17 Ausnahmeregelungen

Der Indikator PI_{exemp} beschreibt besondere Autorisierungen und behandelt den Service Special Authorization and Exemptions.

Unter besonderen Umständen werden Ausnahmeregelungen getroffen. In diesen Fällen erhält der DO eine spezielle Genehmigung, durch die seine Operation mit einer erhöhten Priorität durchgeführt werden kann. Eine Sonderbehandlung wird ausschließlich bei entsprechendem Bedarf ausgesprochen. Die spezielle Autorisierung erhält der DO in Form eines COA.

Vor Aushändigung einer Ausnahmegenehmigung wird der Bedarf der Sonderbehandlung ermittelt. Aus der Gegenüberstellung von Notwendigkeit und Anfrage wird durch eine Nutzen-Aufwand-Analyse beurteilt, ob eine spezielle Autorisierung ausgesprochen wird. Die Beurteilung der Notwendigkeit ist subjektiv und wird von Fall zu Fall neu getroffen.

Service	Special Authorization and Exemptions
Goals & Objectives	In besonderen Fällen wird eine Ausnahmeregelung getroffen und die Operation darf unter speziellen Umständen geflogen werden
CSF	Spezielle Autorisierungen werden bei Bedarf ausgehändigt; der DO erhält ein COA
Messung	Es wird der Bedarf der Sonderbehandlung ermittelt
Metrik	Bedarf und Nutzen werden gegenübergestellt und anschließend in einer Nutzen-Aufwand-Analyse beurteilt

Tabelle 4.19.: Performancematrix für PI_{exemp}

Mit dem Indikator PI_{exemp} werden die getroffenen Entscheidungen von speziellen Autorisierungen charakterisiert. Eine gute Wertung des PIs bedeutet eine Aushändigung von speziellen Autorisierungen nur in Fällen, in denen sie notwendig ist.

4.2 Definition der KPIs

Die Identifikation der KPIs basiert auf den Grundprinzipien und Zielsetzungen des U-Spaces. In diesem Kapitel werden fünf KPIs definiert.

Nr	Notation	Bezeichnung
01	KPI_{safe}	Operationelle Sicherheit während eines Fluges
02	KPI_{auto}	Automatisierungsgrad der Operationen
03	KPI_{scale}	Skalierbarkeit und Anpassungsfähigkeit auf verändertes Verkehrsaufkommen
04	KPI_{int}	Verfügbarkeit des Systems und Integration der Nutzer
05	KPI_{sec}	Sicherheit gegen Missbrauch des Systems

Tabelle 4.20.: Überblick der fünf KPIs

Im gleichen Vorgehen zur Identifizierung der PIs wird für jeden KPI eine Matrix erstellt, in der einerseits aus betriebswirtschaftlicher Sicht die Goals & Obejectives und die CSF bestimmt sind, andererseits die Messungen und die daraus ableitbaren Metriken definiert sind.

4.2.1 Sicherer Betrieb

Mit dem ersten Grundprinzip, das vom U-Space definiert ist, wird ein sicherer Betrieb aller Missionen im Luftraum beschrieben. Im Deutschen wird mit Sicherheit die innere und äußere Sicherheit beschrieben. Dagegen wird im Englischen unterteilt in *safety* und *security* [Kli16]. In diesem Abschnitt wird ausschließlich die innere Sicherheit durch einen KPI erfasst. Sicherheit gegen äußere Einflüsse und Manipulation wird im KPI in Kapitel 4.2.5 beschrieben.

Alle Aktivitäten im U-Space werden sicher ausgeführt. Das bedeutet nicht allein das Vermeiden von Unfällen, sondern zusätzlich das Ausführen von Missionen bei minimalem Risiko von Gefahren und kritischen Situationen in der Mission. Kritische Situationen sind bereits durch die Merging Conflicts beschrieben. Bei allen Tätigkeiten im Luftraum müssen Material- und primär Personalschäden vermieden werden. Deshalb müssen Mission, Flug und Verkehr ex ante vorausschauend geplant sein, um das geringste Risiko im Luftraum zu erreichen.

Zur Beurteilung der Sicherheit im U-Space werden Statistiken von Unfällen und kritischen Situationen erfasst. Jeder Unfall wird mit einem Zeitstempel und einer geographischen Position versehen, sodass im Anschluss Untersuchungen vorgenommen werden könne, um die Ursache zu ermitteln. Jeder Unfall kann in Klassen eingeteilt werden. In der bemannten Luftfahrt existiert bereits eine Klassifizierung von Unfällen [Air]. Aus der Anzahl der Flüge und der Anzahl der Unfälle wird eine Unfallquote erhoben. Präventiv können Unfälle vermieden werden, wenn für spezielle Unfallsituationen einschließlich ihrer Umgebungsparameter Gegenmaßnahmen getroffen sind, um ein erneutes Eintreten eines Unfalles zu vermeiden. Durch Einbeziehung aller Faktoren wird für kritische Situationen ein Risikopotential erstellt, welches für die Planung weiterer Missionen und Flüge zur Optimierung der Sicherheit nützt.

Prinzip	Sicherer Betrieb im U-Space
Goals & Objectives	Alle Aktivitäten im U-Space werden sicher ausgeführt; Material- und Personenschäden werden vermieden
CSF	Missionen werden unter Risikobetrachtungen geplant und ausgeführt
Messung	Es werden die Unfälle und der gesamte Verkehr in einem zeitlichen Intervall gemessen; Kritischen Situationen im Verkehrsaufkommen werden dokumentiert
Metrik	Aus dem Derivativ Unfälle zu Verkehr wird eine Unfallquote oder Rate erstellt; Anhand kritischer Situationen unter den vorherrschenden Bedingungen werden Risikopotentiale erstellt

Tabelle 4.21.: Performancematrix für KPI_{safe}

Die Sicherheit aller Nutzer im unbemannten Luftraum ist eines der Schlüsselziele des U-Spaces. Mit dem Indikator KPI_{safe} wird erfasst, wie viele kritische Situationen pro Zeit in einem Volumenelement unter den äußeren Bedingungen geschehen. Dabei ist bisher nicht eindeutig definiert, ab wann es sich um eine kritische Situation handelt.

4.2.2 Automatisierungsgrad

Im Rahmen der Integration von UAVs in den unbemannten Luftraum stellt die Automatisierung eines der wesentlichen Ziele des U-Spaces dar.

Durch die Automatisierung sollen dichtere Verkehrsaufkommen ermöglicht werden. Realisiert wird dieses Ziel durch eine autonom-fliegende UAV Flotte. Durch die Verlagerung eines menschlichem PIC zu einer autonomen Regelung des AVs reduziert sich der Einfluss von Human Factors im System. Abläufe und Verhalten von Nutzern im U-Space wird vorausschauender, sodass der Verkehr mit einer erhöhten Dichte operiert werden kann. Ein DO in Form einer Person wird im System nicht mehr als Pilot behandelt, sondern observiert indessen eine Drohnenflotte. Um eine autonom-fliegende Flotte auszurüsten, müssen die UAVs die technischen Voraussetzungen besitzen, um Hardware und Software für einen nahezu menschenfreien Betrieb zu konfigurieren.

Einerseits wird das aktuelle ACL jedes UAVs bestimmt. Um allerdings eine vollautomatisierte Flotte zu betreiben, muss der DO die notwendigen Mittel verfügen, seine Flotte zu observieren und im Notfall einzugreifen. Durch die erhöhte Automatisierung und dem dadurch deterministischem Verhalten von Operationen kann jeder Mission eine Reproduzierbarkeit zugeordnet werden. Auf Grundlage von ACL des DO und der UAV und der Gestalt der Mission wird ein Automatisierungsgrad definiert, der dem operierendem DO zugewiesen wird.

Prinzip	Hoher Automatisierungsgrad
Goals & Objectives	Alle Prozesse im U-Space sollen bestmöglich automatisiert erfolgen; Durch einen hohen Automatisierungsgrad wird eine höhere Verkehrsdichte angestrebt; DO operieren eine Drohnenflotte
CSF	UAVs haben die notwendige technische Ausrüstung, um autonom zu fliegen; Es ist nahezu keine menschliche Interaktion zwischen UAV und Mission erforderlich
Messung	ACL für DO und UAV können direkt gemessen werden; Hochautomatisierte Missionen laufen deterministisch ab, sodass eine Reproduzierbarkeit ermittelt werden kann
Metrik	Aus ACL und Mission wird ein Automatisierungsgrad definiert, in dem ein DO operiert

Tabelle 4.22.: Performancematrix für KPI_{auto}

Mit dem Indikator KPI_{auto} wird der Automatisierungsgrad von Operationen im U-Space beschrieben. Durch die Vorgaben des SESAR wird ein höchstmöglicher Automatisierungsgrad angestrebt.

4.2.3 Skalierbarkeit

Bereits in Kapitel 2.3 ist die Vielfalt und Heterogenität der UAV angedeutet. Änderungen von verschiedenen Drohnenkonfigurationen und der Anzahl von Nutzern im System werden in einem Indikator zusammengefasst.

Wegen der deutlich kürzeren Reichweite der unbemannten Luftfahrzeuge im Vergleich zu AVs der bemannten Luftfahrt werden Missionen im U-Space gezwungenermaßen kürzer sein. Auf der anderen Seite wird die Anzahl der Missionen und Nutzer signifikant höher sein. Um dementsprechende Verkehrsaufkommen bewältigen zu können, muss das System U-Space skalierbar, flexibel und anpassungsfähig ausgerichtet sein. Neben einer Variation von Anfragen im Luftraum, muss auf Änderungen der Technologie der Drohnen, der Geschäftsmodelle der Operator und der Anwendungen reagiert werden. Zu keinem Zeitpunkt darf das System überlastet sein, da ansonsten einzelne Services nicht mehr ausgeführt werden können. Eine Skalierbarkeit und Flexibilität wird bereits durch die Systemarchitektur gegeben. Ein cloud-basiertes Netzwerk lässt sich durch eine horizontale Ausdehnung erweitern. In diesem Fall wird mehr Rechenkapazität erworben. Die Funktion eines Service wird nicht durch die Rechenleistung beeinträchtigt und sie können somit mehr Anfragen und ein größeres Verkehrsvolumen decken [SP18]. Alle Änderungen im U-Space dürfen weiterhin die bemannte Luftfahrt nicht beeinträchtigen und einschränken.

Aus den Verträgen mit den Cloud-Server-Anbietern werden eine Rechenkapazität und eine Auslastung entnommen. Mittels dieser Information werden Belastungsreserven des Systems ermittelt. Der Service Provider entscheidet, ob eine horizontale Skalierung seines Systems erforderlich ist. Die Zeit, die notwendig ist, um höhere Anfragen im System bewältigen zu können, wird genutzt, um eine Flexibilität des Systems zu bestimmen. Eine hohe Flexibilität optimiert skalierbare Funktionen.

Prinzip	Skalierbarkeit
Goals & Objectives	Das System ist skalierbar, flexibel und anpassungsfähig; Änderungen in Nachfrage, Volumen, Technologie, und Anwendungen können bedient werden; Die Skalierung des U-Spaces wird unter Berücksichtigung der bemannten Luftfahrt koordiniert
CSF	Es sind ausreichend technische Ressourcen verfügbar, um höhere Größenordnung des Verkehrs bedienen zu können; Die bemannte Luftfahrt wird nicht eingeschränkt
Messung	Verfügbare Rechenkapazität der Hardware wird ermittelt; Die aktuelle Ausnutzung der Services für den sicheren Betrieb im U-Space wird ermittelt
Metrik	Anhand verfügbaren und genutzten Ressourcen werden Reserven ermittelt; Zusätzlich wird eine maximale Skalierbarkeit aus den verfügbaren Mitteln berechnet; Für die Flexibilität wird eine Metrik ermittelt, die ein Maß für die Agilität und der Anpassungsfähigkeit unter zeitlichen Aspekten ist

Tabelle 4.23.: Performancematrix für KPI_{scale}

Durch den Indikator KPI_{scale} wird der U-Space in seiner Anpassungsfähigkeit qualifiziert. Eine hohe Skalierbarkeit wird dann erreicht, wenn auf Änderungen im System unmittelbar in angemessener Form reagiert werden kann.

4.2.4 Schnittstelle zu Nutzern

Zur vollständigen Abbildung des U-Spaces im Modell wird die Schnittstelle zu Nutzern berücksichtigt.

Für alle Nutzer wird ein Zugang zu den Services ermöglicht, damit die DO ihre Operationen ausführen können. Die verschiedenen Nutzer, die einzelnen Stakeholdern zugeordnet werden können, werden gleichermaßen fair behandelt. Damit ist gemeint, dass keine Anfrage im U-Space abhängig von ihrem Geschäftsmodell oder anderen Metadaten bevorzugt oder benachteiligt wird. Zusätzlich ist das System benutzerfreundlich angepasst, sodass der Nutzer intuitiv seine Benutzeroberfläche auf seinem Client bedienen kann. Falls ein Zugang von einem Nutzer auf einen Server nicht zustande kommt, wird die Ursache der Fehlermeldung analysiert.

Durch die Messung der Skalierbarkeit und der Ausfälle wird die Verfügbarkeit des Systems bestimmt. Ausfälle charakterisieren sich durch ihre Dauer und Auftretshäufigkeit. Falls das System unvorhergesehen oder geplant, beispielsweise durch Software-Wartung, ausfällt, kann der Nutzer gegebenenfalls nicht mehr auf das System im U-Space zugreifen. Da durch diese Messungen direkt eine Schnittstelle zu den Nutzern erstellt wird, wird durch die Integration unter anderem die Kunden- und Nutzerzufriedenheit beeinflusst. Im Sinne der Definition von Leistungskennzahlen wird die Zufriedenheit als Result in einem KRI beschrieben und an dieser Stelle nicht weiter verfolgt.

Prinzip	Nutzerintegration
Goals & Objectives	Der Zugang zum Luftraum wird für alle Nutzer ermöglicht; Die Integration verschiedener Stakeholder gehört zu den wichtigsten Zielen des U-Spaces; Nicht zustande kommender Zugang wird analysiert
CSF	Alle Nutzer haben einen fairen und freien Zugang zum Luftraum; Bedienungen von Systemen läuft intuitiv ab
Messung	Anfragen der Nutzer auf einzelne Services werden gemessen und eingeteilt; Ausfallzeiten des Systems Ausfallhäufigkeiten bestimmen die Stabilität des Systems
Metrik	Anhand der Skalierbarkeit und der Systemausfälle der Services im U-Space werden Verfügbarkeit und Zugangsmöglichkeiten der Nutzer bestimmt

Tabelle 4.24.: Performancematrix für KPI_{int}

Durch den Indikator KPI_{int} wird beschrieben, inwiefern ein Nutzer auf den U-Space zugreifen kann, um seine Missionen zu operieren. Der Zugang wird von der Skalierbarkeit, den Ausfällen und der Bedienbarkeit des Systems beeinflusst.

4.2.5 Performancebewertung der Privatsphäre

Eine weitere Zielsetzung des unbemannten Luftraumes ist die Analyse des Einflusses auf die Privatsphäre von natürlichen Personen und die Sicherheit von Datenbanken. Beide Vorgaben werden in einem KPI beschrieben. Bereits mit dem Indikator KPI_{safe} aus Kapitel 4.2.1 ist ein Teilaspekt der Sicherheit bestimmt. Es gilt, einen weiteren KPI gegen die Manipulation und Sicherheit von außen zu bestimmen.

Mit dem Datenschutz werden in erster Linie Verletzungen der Privatsphäre identifiziert. Alle Services geben ihre Informationen ausschließlich an definierte und autorisierte Stakeholder weiter. Sicherheitsmechanismen, die den nicht-autorisierten Zugang verhindern sollen, werden für jeden Service individuell entworfen. Insbesondere personenspezifische Daten unterliegen höheren Sicherheitsstufen. Des Weiteren wird der Nutzen jeder Mission überprüft. Eine Mission wird abgelehnt, wenn ihr Zweck die Spionage oder Erforschung von privaten oder geschützten Informationen sind. UAVs, die unangemeldet im Luftraum agieren, müssen zeitnah identifiziert werden, sodass der DO ausfindig gemacht werden kann. Ein unbekanntes AV stellt eine Gefahr für weitere Verkehrsteilnehmer und für die Privatsphäre dar.

Angriffe auf Datenbanken werden durch Sicherheitsmaßnahmen detektiert. Jeder Angriff wird dokumentiert. Falls möglich werden die Angriffe zurückverfolgt, um eine verantwortliche Person zu identifizieren. Jede Datenbank erhält Sicherheitsstufen. Anhand dieser werden Zugriffe anderer Services gewährt oder abgelehnt. In regelmäßigen Abständen wird die Kartographie überarbeitet, damit alle NDZ und LDZ aktualisiert sind. Dadurch können weitere Lufträume freigegeben oder geschlossen werden. Aus der Missionsplanung und den aufgrund der Privatsphäre gesperrten Lufträumen werden Risikoanalysen erstellt, die eine Vorhersage bieten, wie wahrscheinlich eine

Verletzung des Regelwerks aufgrund eines bestimmten Ereignisses ist.

Prinzip	Datenschutz und Privatsphäre
Goals & Objectives	Daten und Prozesse im U-Space müssen gegen äußere Manipulation geschützt sein; Missionen, die die Privatsphäre von Personen verletzen oder in NDZ und LDZ operieren, müssen umgeplant und dementsprechend ausgeführt werden
CSF	Alle Services werden gegen Manipulation und unter Berücksichtigung von Sicherheitsaspekten konstruiert und implementiert
Messung	Unerlaubte Zugriffe auf Datenbanken werden registriert; Geographische Zonen, die für den UAS-Betrieb aufgrund der Privatsphäre zu umfliegen sind, werden in zeitlichen Abständen bestimmt
Metrik	Für jede Datenbank wird eine Sicherheitseinstufung vorgenommen; Aus der Missionsplanung und privaten Sicherheitszonen wird eine Risikoanalyse erstellt

Tabelle 4.25.: Performancematrix für KPI_{sec}

Der Indikator KPI_{sec} ist ein Maß für Missbrauch des U-Spaces von außen. Durch eine resistente Systemarchitektur gegen Manipulation und lückenlose Aufklärung von Angriffen wird eine hohe Qualifikation des Indikators erreicht.

5 Untersuchung der Leistungskennzahlen

Aus den definierten PIs und KPIs in Kapitel 4 werden Informationsabhängigkeiten ermittelt. Durch Beeinflussung und Einflussnahme der Indikatoren werden Eigenschaften, die die Indikatoren auszeichnen, zugeordnet. Die Informationsabhängigkeiten in Form von Relationen werden in Beeinflussungsmatrizen dargestellt. Alle Begründungen zu den Relationen sind in Anhang B hinterlegt.

5.1 Auswertung der PIs

Nachdem alle 17 PIs bestimmt sind, werden die PIs untersucht und ausgewertet. Für diesen Zweck werden alle Indikatoren in einer Beeinflussungsmatrix gegenübergestellt, um die Relationen untereinander zu bestimmen. Die Betrachtung von PIs auf PIs wird als System PP beschrieben. Anhand der Beeinflussungsmatrix wird für jeden PI eine Aktivität und eine Passivität durch Summieren der Zeilen und Spalten erstellt. Jedem PI können abhängig von ihrer Aktivität und Passivität Charaktereigenschaften zugeordnet werden. In Tabelle 5.1 befindet sich eine Auflistung und Kurzfassung aller 17 PIs. Die Reihenfolge entspricht der Anordnung, die für die Beeinflussungsmatrix genutzt wird.

Nr	Notation	Beschreibung
01	PI_{aero}	Ausnutzung und Auslastung eines Luftraumes aufgrund seiner Gestalt
02	PI_{geo}	Nutzbarkeit und Einteilung des geographischen Geländes
03	PI_{wx}	Güte der Wettervorhersagen und Kategorisierung in meteorologische Klassen
04	PI_{UAV}	Erfüllung der UAV Spezifikation für eine bestimmte Mission
05	PI_{DO}	Fähigkeit eines DOs, im U-Space eines bestimmte Mission zu operieren
06	PI_{com}	Qualität von Übertragungen zwischen Systemteilnehmern
07	PI_{nav}	Genauigkeit und Akkuratessse der Navigation einzelner UAVs
08	PI_{surv}	Kenntnis über alle aktuellen Verkehrsteilnehmer
09	PI_{plan}	Güte der Planung von Flug, Verkehr und Mission
10	PI_{sepa}	Aufrechterhaltung der Separationsminima im Luftraum
11	PI_{konf}	Konformität der Ausführung zum ursprünglichen Flugplan einer Mission
12	PI_{post}	Aufbereitung und Vollständigkeit der Aufzeichnung aller Tätigkeiten im U-Space
13	PI_{emerg}	Sorgfalt der Planung von Notfallhandlungen
14	PI_{note}	Erhöhung des Situationsbewusstsein durch Mitteilungen
15	PI_{law}	Einhaltung der Gesetze im U-Space und Ahndung bei Verstößen
16	PI_{risk}	Zuordnung von Risikoklassen von Aktivitäten im U-Space
17	PI_{exemp}	Aushändigung von Ausnahmeregelungen falls notwendig

Tabelle 5.1.: Kurzprofil aller 17 PIs

5.1.1 Bestimmung der Relationen

In der Beeinflussungsmatrix der PIs wird jedem Element der Zeile eine Relation zu jedem Element der Spalten zugeordnet. Eine Relation kann einen Wert von null bis drei annehmen. Die Relationen werden in einer Tabellenform erklärt. Alle Relationen werden im Anhang in Tabelle B.2 bis Tabelle B.18 beschrieben.

Die Erklärungen der Relation beruhen einerseits auf den Überlegungen des Autors, andererseits sind Informationsabhängigkeiten in den Drone Information Services angedeutet [NBJ⁺18]. Mit allen Relationen ergibt sich die Beeinflussungsmatrix vom System *PP*, die in der Matrix in Tabelle 5.2 dargestellt ist.

Einfluss auf von ↗	PI_{aero}	PI_{geo}	PI_{wx}	PI_{UAV}	PI_{DO}	PI_{com}	PI_{nav}	PI_{surv}	PI_{plan}	PI_{sepa}	PI_{konf}	PI_{post}	PI_{emerg}	PI_{note}	PI_{law}	PI_{risk}	PI_{exemp}
PI_{aero}	-	0	1	2	1	1	2	0	3	2	0	0	2	1	0	3	2
PI_{geo}	2	-	2	1	0	2	1	0	2	0	0	1	3	1	0	2	0
PI_{wx}	2	0	-	1	0	1	1	0	3	3	2	1	1	3	0	1	0
PI_{UAV}	1	2	1	-	2	3	3	2	3	1	0	1	2	2	0	1	1
PI_{DO}	2	0	0	3	-	1	1	2	2	1	1	1	0	1	0	0	2
PI_{com}	2	0	0	1	0	-	1	2	0	2	3	0	1	1	0	0	1
PI_{nav}	1	0	0	1	0	0	-	1	2	3	2	0	1	0	0	1	0
PI_{surv}	0	0	0	1	0	0	0	-	2	3	3	0	2	2	2	0	0
PI_{plan}	0	0	0	0	0	0	2	0	-	2	1	1	2	0	1	2	2
PI_{sepa}	0	0	1	2	0	3	2	1	2	-	1	1	1	1	3	1	0
PI_{konf}	0	0	0	1	0	0	0	3	1	2	-	1	0	2	3	1	0
PI_{post}	3	0	3	0	0	0	0	1	2	0	0	-	1	1	1	3	0
PI_{emerg}	2	0	0	2	0	2	1	1	2	1	2	1	-	3	2	2	3
PI_{note}	0	0	0	0	2	1	0	2	1	2	1	2	2	-	1	1	0
PI_{law}	1	0	0	0	3	0	0	0	0	0	2	0	0	2	-	1	0
PI_{risk}	0	0	1	1	3	0	0	0	1	2	0	0	2	1	0	-	0
PI_{exemp}	0	0	0	1	2	0	0	0	2	1	0	1	0	1	0	0	-

Tabelle 5.2.: Beeinflussungsmatrix für System *PP*

In der Matrix sind alle Relationen eingetragen. Die Diagonale ist mit einem „-“ gekennzeichnet, da diese Zellen die Abbildung eines Elementes auf sich selber bedeutet. Zusätzlich sind die Hintergrundfarben dem Zellenwert angepasst. Durch einen höheren Betrag in der Zelle nimmt der Rot-Akzent im Hintergrund zu. Bei dem Wert 0 ist der Hintergrund weiterhin weiß. Der Rot-Akzent steigt bis zu einem rötlichen Hintergrund bei Wert 3. Eine Darstellung in Form einer Heat-Map erleichtert den Überblick.

5.1.2 Zuordnung der Eigenschaften der PIs

Nachdem die Beeinflussungsmatrix erstellt ist, wird jedem PI durch Bildung der Zeilensumme eine Aktivität und durch Bildung der Spaltensumme eine Passivität zugeordnet.

$$AS_{max}^{PP} = PS_{max}^{PP} = R_{max} * (n_{PI} - 1) = 3 * (17 - 1) = 48 \quad (5.1)$$

Durch die Normierung auf die maximal erreichbare Summe werden die genormte AS α^{PP} und die genormte PS π^{PP} für jeden PI bestimmt und ebenfalls in Tabelle 5.3 eingetragen. Die maximal erreichbare Summe errechnet sich aus der Anzahl der zu befüllenden Zellen und den maximalen Wert je Zelle.

Nr	Indikator	PS^{PP}	AS^{PP}	π^{PP}	α^{PP}
01	PI_{aero}	16	20	0,333	0,417
02	PI_{geo}	2	17	0,042	0,354
03	PI_{wx}	9	19	0,188	0,396
04	PI_{UAV}	17	25	0,354	0,521
05	PI_{DO}	13	17	0,271	0,354
06	PI_{com}	14	14	0,292	0,292
07	PI_{nav}	14	12	0,292	0,250
08	PI_{surv}	15	15	0,313	0,313
09	PI_{plan}	28	13	0,583	0,271
10	PI_{sepa}	25	19	0,521	0,396
11	PI_{konf}	18	14	0,375	0,292
12	PI_{post}	11	15	0,229	0,313
13	PI_{emerg}	20	24	0,417	0,500
14	PI_{note}	22	15	0,458	0,313
15	PI_{law}	13	9	0,271	0,188
16	PI_{risk}	19	11	0,396	0,229
17	PI_{exemp}	11	8	0,229	0,167

Tabelle 5.3.: Aktivsumme und Passivsumme jedes PIs

Anschließend wird in der Abbildung 5.1 die genormte AS α^{PP} über der genormten PS π^{PP} aufgetragen. Durch die Normierung können α^{PP} und π^{PP} maximal den Wert 1 annehmen. Um die Übersicht im Koordinatensystem beizubehalten, sind die einzelnen PIs mit einer Nummer versehen. Eine Legende an der Seite entschlüsselt die Zuordnung von Nummer zu PI. Zusätzlich wird der Mittelwert der Beeinflussung gebildet.

$$\bar{\alpha}^{PP} = \bar{\pi}^{PP} = \frac{1}{17} \sum \alpha_i^{PP} = 0,327 \quad (5.2)$$

Der Mittelwert für α^{PP} und π^{PP} ist durch blaue Strichlinien in Abbildung 5.1 gekennzeichnet. Dadurch wird eine Einteilung des Rasters erreicht. Die auf diese Weise entstehenden Quadranten

werden mit den Eigenschaften *aktiv*, *träge*, *kritisch* und *reaktiv* entsprechend gekennzeichnet. Es lassen sich somit die verschiedenen Eigenschaften den PIs zuordnen.

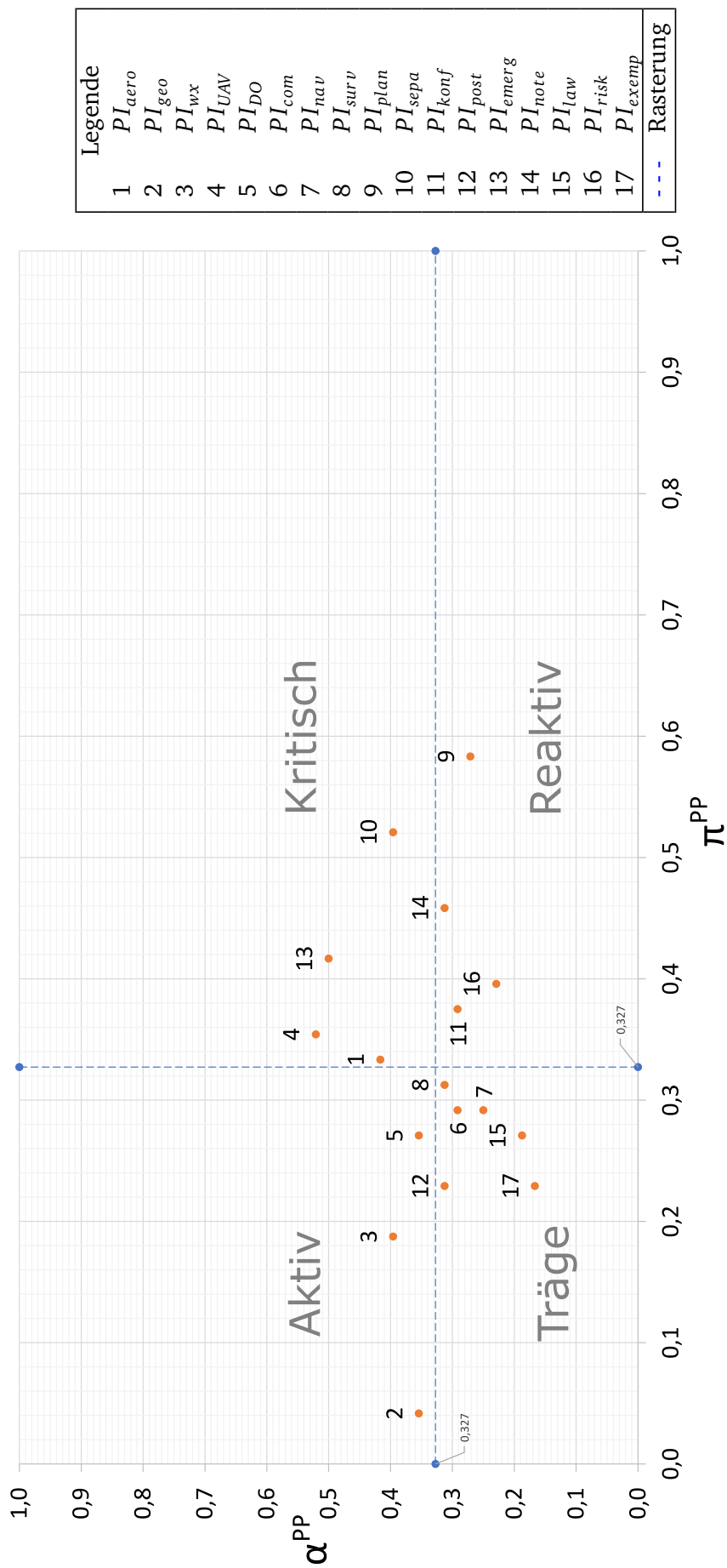


Abbildung 5.1.: Detailansicht des Rasters für Aktivität und Passivität der PIs

Ein Großteil der PIs befindet sich nahe dem Schnittpunkt der blau-gestrichelten Linien. Es existieren wenige PIs, die sich deutlich in einer Eigenschaft einsortieren. Folgend werden für die Eigenschaften die Indikatoren betrachtet, die innerhalb eines Quadranten am stärksten die Charaktereigenschaft vertreten.

Aktive PIs

Zwei stark ausgeprägte aktive PIs sind PI_{geo} und PI_{wx} . Von ihnen geht viel Einfluss unmittelbar auf andere PIs aus. Änderungen der Information der Services, die den PIs zugeschrieben sind, bedeuten eine Wirkung auf andere PIs. Selber werden beide PIs nur geringfügig beeinträchtigt. Beide PIs sind das Ergebnis von gemorphten Services, die externe Informationen der äußeren Umgebung in das System tragen.

Kritische PIs

Die beiden kritischsten PIs sind PI_{sepa} und PI_{emerg} . Beide PIs beschreiben Aktivitäten während der Flugausführung. Sie behandeln unmittelbar die Behandlungen der UAVs im Luftraum. Aufgrund ihrer hohen AS und PS werden sie stark von anderen PIs beeinflusst und üben selber starken Einfluss auf andere PIs aus. Bereits geringfügigere Änderungen der Informationen, die in den PIs verwaltet werden, verursachen eine Änderungen im gesamten System, dem U-Space. PI_{sepa} und PI_{emerg} zeichnen sich durch eine hohe Vernetzung im System aus. Zusätzlich zeichnet sich der PI_{UAV} durch eine hohe Aktivität bei durchschnittlicher Passivität aus. Die Spezifikationen des UAV beeinflussen einige weitere Operationen im U-Space unmittelbar. Selber wird PI_{UAV} nicht besonders stark beeinflusst.

Reaktive PIs

Insbesondere PI_{plan} und PI_{risk} zeichnen sich durch eine hohe Beeinflussbarkeit und eine niedrige Einflussnahme aus. Für die Services, die in den beiden PIs jeweils zusammengelegt sind, werden Informationen aus verschiedenen Bereichen benötigt, um eine Mission oder einen Flug zu planen oder eine Risikoanalyse zu einer Aktivität im U-Space zu erstellen. Die beiden PIs spiegeln Tätigkeiten wider, die vor der Ausführung einer Mission, eines Fluges oder einer ähnlichen Aktion abgeschlossen werden.

Träge PIs

Zu den trägen PIs gehören PI_{law} und PI_{exemp} . Durch beide PIs werden in erster Linie administrative und juristische Aktivitäten beschrieben. Von ihnen geht nur geringfügig Einfluss auf andere PIs aus. Zudem werden sie nahezu nicht von weiteren PIs beeinflusst. Beide PIs sind im System wenig eingebunden.

Die restlichen Indikatoren zeichnen sich weder durch einen besonders hohen noch durch einen besonders niedrigen Wert ihrer Aktivität oder Passivität aus. Dadurch können sie nicht signifikant einer Charaktereigenschaft zugeordnet werden.

5.2 Auswertung der KPIs

Alle fünf KPIs basieren auf den Zielsetzungen des U-Space und sind in Kapitel 4.2 bestimmt. In Tabelle 5.4 sind die fünf KPIs mit einer kurzen Beschreibung aufgeführt.

Nr	Notation	Beschreibung
1	KPI_{safe}	Erfolgreiche Missionen ohne Zwischenereignisse pro Volumen und Zeit
2	KPI_{auto}	Automatisierungsgrad der Operationen
3	KPI_{scale}	Skalierbarkeit und Flexibilität des Systems auf verschiedene Größenordnungen
4	KPI_{int}	Zugangsmöglichkeiten und Verfügbarkeiten im U-Space für Nutzer
5	KPI_{sec}	Sicherheit und Robustheit aller Services im U-Space

Tabelle 5.4.: Kurzprofil aller fünf KPIs

5.2.1 Relationen der KPIs

Analog zu den Relationen der PIs wird jedem KPI ein Relationswert auf einen anderen KPI zugeordnet. Die Relationen beruhen ausschließlich auf Annahmen des Autors. Eine Begründung der Relationen befindet sich in Anhang B.2. Aus den Relationen der KPIs ergibt sich die Matrix 5.5. Die Abbildung von KPIs auf KPIs wird mit der Abkürzung KK beschrieben.

Einfluss auf von ↗	auf				
	KPI_{safe}	KPI_{auto}	KPI_{scale}	KPI_{int}	KPI_{sec}
KPI_{safe}	-	1	3	2	1
KPI_{auto}	3	-	3	2	2
KPI_{scale}	1	1	-	2	2
KPI_{int}	2	2	2	-	1
KPI_{sec}	1	1	1	0	-

Tabelle 5.5.: Beeinflussungsmatrix für System KK

Ebenso sind in der Beeinflussungsmatrix die unterschiedlichen Werte mit steigendem Betrag durch einen roten Akzent hervorgehoben. Diagonalelemente sind in gleicherweise mit einem „-“ gekennzeichnet.

5.2.2 Zuordnung der Eigenschaften der KPIs

Aus der Summe der Zeilen wird für jeden KPI eine Aktivität bestimmt. Die Passivität der KPIs wird aus den Summen der Spalten ermittelt. Mit der maximal erreichbaren Summe je Spalte und Zeile werden die AS und PS normiert.

$$AS_{max}^{KK} = PS_{max}^{KK} = R_{max} * (n_{KPI} - 1) = 3 * (5 - 1) = 12 \quad (5.3)$$

Die normierte PS und AS werden zusammen in einer Übersicht in Tabelle 5.6 festgehalten.

Nr	Indikator	PS^{KK}	AS^{KK}	π^{KK}	α^{KK}
01	KPI_{safe}	7	7	0,583	0,583
02	KPI_{auto}	5	10	0,417	0,833
03	KPI_{scale}	9	6	0,750	0,500
04	KPI_{int}	6	7	0,500	0,583
05	KPI_{sec}	6	3	0,500	0,250

Tabelle 5.6.: Aktivsumme und Passivsumme jedes KPIs

Mit den Summen der Zeilen und Spalten der Matrix 5.6 und den Maxima $AS_{max}^{KK} = PS_{max}^{KK}$ ergeben sich die normierten Aktivitäten und Passivitäten π^{KK} und α^{KK} jedes KPIs. Alle Ergebnisse sind in Tabelle 5.6 zusammengetragen. Aus den genormten Aktivitäten und Passivitäten werden die Mittelwerte berechnet.

$$\bar{\alpha}^{KK} = \bar{\pi}^{KK} = \frac{1}{5} \sum \alpha_i^{KK} = 0,550 \quad (5.4)$$

Die Mittelwerte der Beeinflussung eines KPIs ist im Mittel nahezu um Faktor 2 größer als die Beeinflussung von PIs. Mathematisch ausgedrückt bedeutet dies $\bar{\alpha}^{KK} = \bar{\pi}^{KK} > \bar{\alpha}^{PP} = \bar{\pi}^{PP}$. Die KPIs beeinflussen ihre Indikatorenklasse wesentlich stärker, als sich die PIs untereinander. Bei dieser Betrachtung wird bisher nur der unmittelbare Einfluss betrachtet. In Kapitel 5.3 wird auf vollständige Einflussnahme der PIs und Beeinflussung der KPIs eingegangen.

Mit dem Mittelwert der Beeinflussung der KPIs wird in gleicher Weise zu den PIs eine Rasterung eingeteilt. Aus dem Mittelwert wird jeweils ein Lot zur entsprechenden Achse erstellt. Alle KPIs sind in Abbildung 5.2 als orange Punkte dargestellt. Durch die Achsenparallelen entstehen vier Quadranten, die ebenfalls mit den Eigenschaften *aktiv*, *träge*, *reaktiv* und *kritisch* signiert sind.

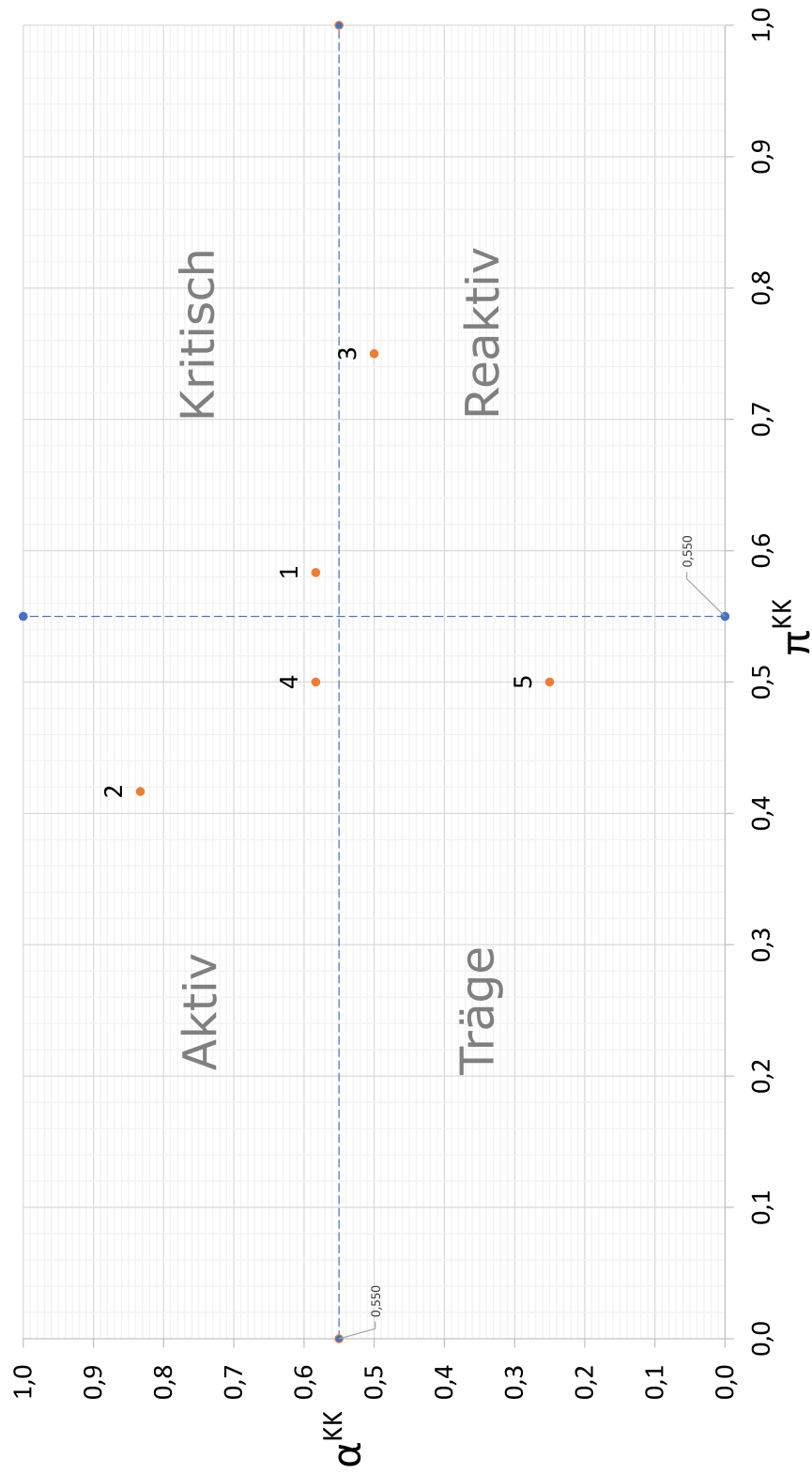


Abbildung 5.2.: Detailansicht des Rasters für Aktivität und Passivität der PIs

Eine Einteilung in die vier Eigenschaften ist bei den KPIs nicht detailliert ausgeprägt. Im relativen Vergleich untereinander kann kein KPI als besonders kritisch identifiziert werden. Für die weiteren Eigenschaften werden die ausgeprägtesten KPIs beschrieben.

Aktiver KPI

Der aktivste KPI mit der höchsten AS ist KPI_{auto} . Dieser KPI nimmt auf alle vier weiteren Kennzahlen mindestens starken Einfluss. Eine Änderung der Automatisierung im System beeinflusst unmittelbar weitere KPIs und dadurch unmittelbar die Zielsetzungen im U-Space, auf denen die KPIs basieren.

Kritischer KPI

Es ist kein markanter kritischer KPI im Vergleich festgestellt.

Reaktiver KPI

Dem KPI_{scale} wird die höchste Passivität in dieser Betrachtung zugeschrieben. Die Skalierbarkeit wird von allen KPIs am meisten beeinflusst. Alle anderen KPIs beeinflussen die Skalierbarkeit direkt. Durch eine Änderung eines weiteren KPI wird zwingend auf KPI_{scale} eingewirkt.

Träger KPI

Der Schutz von Daten und die Sicherheit gegen Missbrauch im U-Space stellt den trägsten KPI in dieser Betrachtung dar. Von allen KPIs geht von KPI_{sec} am wenigsten Einfluss unmittelbar auf andere KPIs aus. Zugleich wird dieser am wenigsten direkt von anderen KPIs beeinflusst. Dieser KPI reagiert träge auf Änderungen im U-Space.

Eine Clusterung ist aufgrund der geringeren Anzahl von betrachteten Elementen nicht möglich. Mit KPI_{safe} und KPI_{int} sind zwei KPIs erfasst, die keine bestimmte Eigenschaft signifikant vertreten. Eine genauere Betrachtung der Beeinflussung der KPIs befindet sich in Kapitel 5.3.2.

5.3 Bewertung der Indikatoreigenschaften

Zuvor sind nur die unmittelbaren Beeinflussungen der PIs untereinander und der KPIs untereinander untersucht. In diesem Kapitel geht es darum, qualitativ zu überprüfen, ob der Einfluss von PIs auf PIs sich vom Einfluss von PIs auf KPIs signifikant unterscheidet. Zusätzlich wird untersucht, inwiefern die Beeinflussung von KPIs auf KPIs von der Beeinflussung von PIs auf KPIs variiert. Für diese Untersuchung wird eine Adaption der Beeinflussungsmatrix angewendet. In Tabelle 5.7 sind in den ersten Einträgen der Zeilen die PIs aufgeführt. In der ersten Spalte werden alle KPIs aufgelistet. Durch diese Anordnung wird der Einfluss von PIs auf KPIs bestimmt.

Einfluss von ↗ auf ↘	auf				
	KPI_{safe}	KPI_{auto}	KPI_{scale}	KPI_{int}	KPI_{sec}
PI_{aero}	1	1	2	0	2
PI_{geo}	1	0	1	0	3
PI_{wx}	2	0	2	2	0
PI_{UAV}	2	2	3	1	1
PI_{DO}	1	3	3	2	1
PI_{com}	2	2	1	2	1
PI_{nav}	2	3	3	0	1
PI_{surv}	3	1	3	0	2
PI_{plan}	2	0	2	1	1
PI_{sepa}	3	1	3	1	0
PI_{konf}	2	3	2	1	0
PI_{post}	0	0	3	3	1
PI_{emerg}	3	0	2	3	2
PI_{note}	2	0	1	3	1
PI_{law}	1	0	2	3	2
PI_{risk}	0	0	2	2	3
PI_{exemp}	0	0	0	2	0

Tabelle 5.7.: Beeinflussungsmatrix für System PK

Alle Begründungen zu den Relationen sind in den Tabellen B.21 bis B.37 im Anhang B.3 nachlesbar. Aus der Beeinflussungsmatrix in Tabelle 5.7 kann aufgrund der Anordnung von Zeilen und Spalten eine Aktivität der PIs und eine Passivität der KPIs ermittelt werden. Die AS, gebildet durch Summieren der Zeilen, wird mit der maximal erreichbaren AS genormt.

$$AS_{max}^{PK} = R_{max} * n_{KPI} = 3 * 5 = 15 \quad (5.5)$$

Mit der Normierung ergibt sich für jeden PI eine α^{PK} für die Betrachtung von PIs auf KPIs.

Nr	Indikator	AS^{PK}	α^{PK}
01	PI_{aero}	6	0,400
02	PI_{geo}	5	0,333
03	PI_{wx}	6	0,400
04	PI_{UAV}	9	0,600
05	PI_{DO}	10	0,667
06	PI_{com}	8	0,533
07	PI_{nav}	9	0,600
08	PI_{surv}	9	0,600
09	PI_{plan}	6	0,400
10	PI_{sepa}	8	0,533
11	PI_{konf}	8	0,533
12	PI_{post}	7	0,467
13	PI_{emerg}	10	0,667
14	PI_{note}	7	0,467
15	PI_{law}	8	0,533
16	PI_{risk}	7	0,467
17	PI_{exemp}	2	0,133

Tabelle 5.8.: Aktivsumme der PIs für System PK

Analog wird für die KPIs eine Passivität für die Betrachtung von PIs auf KPIs erstellt. Für die Normierung wird die maximale PS benötigt.

$$PS_{max}^{PK} = R_{max} * n_{PI} = 3 * 17 = 51 \quad (5.6)$$

Mit der Normierung ergibt sich für jeden KPI eine π^{PK} für die Betrachtung von PIs auf KPIs.

Nr	Indikator	PS^{PK}	π^{PK}
01	KPI_{safe}	27	0,529
02	KPI_{auto}	16	0,314
03	KPI_{scale}	35	0,686
04	KPI_{int}	26	0,510
05	KPI_{sec}	21	0,412

Tabelle 5.9.: Passivsumme der KPIs für System PK

Durch die Beeinflussungsmatrix der Betrachtung von PIs auf KPIs und dessen anschließenden Berechnungen sind alle erforderlichen Parameter zur Beurteilung der Aktivität der PIs und Passivität der KPIs bestimmt. In Kapitel 5.3.1 werden anschließend die Aktivitäten α^{PP} und α^{PK} verglichen, um den Einfluss der PIs zu charakterisieren. Mit Kapitel 5.3.2 wird durch den Vergleich von π^{KK} und π^{PK} die Beeinflussung der KPI charakterisiert.

5.3.1 Charakterisieren der Aktivität von PIs

In dieser Untersuchung wird aus Sicht der PIs der unmittelbare und mittelbare Einfluss auf KPIs behandelt.

Bisher ist ausschließlich die unmittelbare Betrachtung des Einflusses von PI auf weitere Indikatoren erfolgt. Der Einfluss eines PIs auf einen anderen PI, der einen weiteren KPI beeinflusst, ist bis hierhin nicht erfasst. Dies bedeutet, dass ein PI_A mittelbar durch PI_B den KPI_A beeinflussen kann.

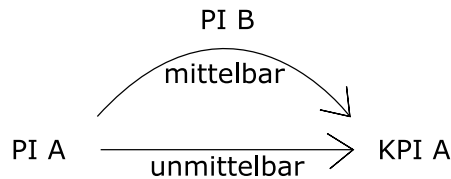


Abbildung 5.3.: Unterschied von mittelbarem und unmittelbarem Einfluss der Indikatoren

In einer vereinfachten Form ist dieser Zusammenhang in Abbildung 5.3 dargestellt. Der vollständige Einfluss eines PIs besteht aus der Summe vom unmittelbaren und mittelbaren Anteil der Einflussnahme. Anschließend wird ausschließlich ein qualitativer Zusammenhang von unmittelbarem und mittelbarem Einfluss untersucht. Dafür werden die Aktivitäten α^{PP} und α^{PK} gegenübergestellt.

α^{PP}	α^{PK}
0,417	0,400
0,354	0,333
0,396	0,400
0,521	0,600
0,354	0,667
0,292	0,533
0,250	0,600
0,313	0,600
0,271	0,400
0,396	0,533
0,292	0,533
0,313	0,467
0,500	0,667
0,313	0,467
0,188	0,533
0,229	0,467
0,167	0,133

Tabelle 5.10.: Übersicht der Aktivitäten der PIs

Aus dem Vergleich der Aktivitäten aus den System PP und PK wird die Aktivität aus Kapitel 5.1 evaluiert. Zuvor als träge oder reaktiv eingestufte PIs, demnach PIs mit einer geringen AS, können aufgrund ihres unmittelbaren Einfluss dennoch eine hohe absolute Aktivität aufweisen. Umgekehrt gilt: PIs mit einem hohem α^{PP} und einem niedrigen α^{PK} besitzen ausschließlich einen mittelbaren

Einfluss auf KPIs, da sie lediglich weitere PIs beeinflussen, die im Anschluss auf KPIs wirken.

In der Abbildung 5.4 ist die Aktivität der PIs im System PK über der Aktivität der Aktivität im System PP aufgetragen. Jeder Punkt symbolisiert einen PI. Zusätzlich sind die Mittelwerte erneut genutzt, um ein Raster in der Aufteilung nach Tabelle 3.12 zu erstellen. Die Eigenschaften, mit denen die Rasterung unterteilt ist, sind *unmittelbar aktiv*, *äußerst aktiv*, *nicht aktiv* und *mittelbar aktiv*. Weiterhin ist eine rote Strichlinie verwendet, um die Winkelhalbierende der Achsen als Diagonale darzustellen.

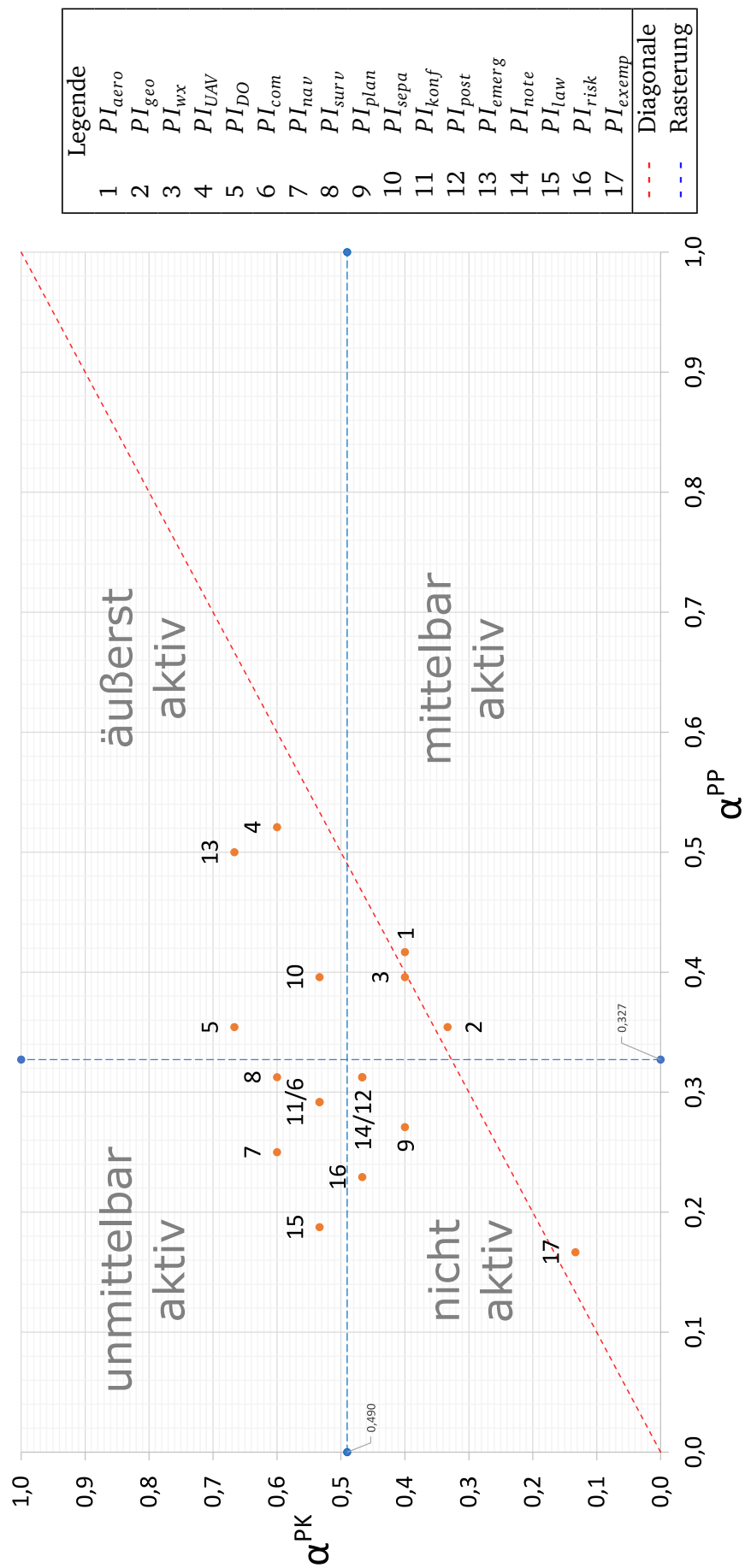


Abbildung 5.4.: Detailansicht des Rasters für die vollständige Aktivität PIs

Die Position des Mittelpunktes der Rasterung, der in der Abbildung 5.4 durch den Schnittpunkt der blauen Strichlinien entsteht, sagt aus, auf welche Indikatoren die PIs im Mittel mehr Einfluss ausüben. Da sich der Mittelpunkt der Rasterung links oberhalb der roten Diagonalen befindet, beeinflussen PIs durchschnittlich stärker KPIs als weitere PIs. Je weiter sich der Schnittpunkt von der Diagonalen nach links oben entfernt, desto verhältnismäßig stärker beeinflussen PIs die KPIs anstatt weitere PIs. Die Funktionen der Services untereinander und die Informationen, die von den Services bereitgestellt und verarbeitet werden, nehmen auf die Zielerreichungen im U-Space Einfluss. Lediglich die PIs PI_{aero} , PI_{geo} , PI_{exemp} und PI_{exemp} wirken auf PIs stärker, als auf KPIs.

Die rote Diagonale verschafft einen Überblick der Aktivitäten der PIs, allerdings ist bisher keine Aussage über das Verhalten der Aktivitäten getroffen. Mit der dafür erstellten Rasterung in die vier Charaktereigenschaften *unmittelbar aktiv*, *mittelbar aktiv*, *äußerst aktiv* und *nicht aktiv* wird die Aktivität vollständig bestimmt. Ebenso ist diese Analyse rein qualitativ und zeigt keine quantitativen Zusammenhänge auf.

- **unmittelbar aktiv**

In diesem Fall zeichnen sich die PIs durch eine hohe Einflussnahme auf KPIs aus. Zugleich beeinflussen sie weitere PIs nur gering. Zu dieser Eigenschaft zählen die PIs PI_{law} , PI_{nav} und PI_{surv} . Alle drei PIs sind zuvor in Kapitel 5.1 als träge eingestuft. Durch die Beurteilung des Einflusses auf KPIs sind die drei PIs durch eine hohe unmittelbare Aktivität geprägt. Ihr Einfluss auf KPIs besteht nahezu vollständig aus einer unmittelbaren Aktivität. Informationsänderungen dieser PIs beeinflussen umgehend KPIs und sind deshalb trotz ihrer niedrigen AS α_{pp} im System vernetzt.

- **mittelbar aktiv**

Die PIs PI_{aero} , PI_{geo} und PI_{wx} sind zuvor als sehr aktiv eingestuft. Sie zeichnen sich durch einen hohen Einfluss auf weitere PIs aus. Bei der Betrachtung dieser drei Indikatoren auf KPIs wird keine besondere Aktivität festgestellt. Dieses Verhalten wird als eine mittelbare Aktivität bezeichnet. Der Informationsgehalt, der in den jeweiligen drei PIs enthalten ist, wirkt sich über weitere PIs auf KPIs aus. In Abbildung 5.3 stellt dieses Verhalten den oberen Pfeil dar. Sowohl PI_{aero} , PI_{geo} und PI_{wx} beschreiben äußere Informationen der Umwelt. Aus allen drei Indikatoren gehen externe Daten in das System U-Space ein. Das bedeutet, dass ein Einfluss einer Informationsänderung dieser PIs aus Sicht eines KPIs nicht unmittelbar erfasst werden kann, sondern erst durch die Betrachtung der vermittelnden PIs eine Wertung des Einflusses von PI_{aero} , PI_{geo} und PI_{wx} möglich ist.

- **äußerst aktiv**

Äußerst aktive PIs vereinen die Eigenschaften der beiden zuvor beschriebenen Fälle. PIs dieser Kategorie agieren sehr dynamisch im System und beeinflussen KPIs mittelbar über weitere PIs und unmittelbar. Dieser Kategorie werden insbesondere die PIs PI_{UAV} und PI_{emerg} zugeschrieben. Das UAS ist der Verkehrsteilnehmer im U-Space, für das alle Services entworfen sind. Durch die UAVs werden weitere Indikatoren stark beeinflusst. Der Behandlung und Planung von Notfallprozeduren und dessen Beherrschung wird in der Luftfahrt eine hohe Priorität zugeschrieben. Ausgehend von diesem Hintergrund agiert der PI PI_{emerg} äußerst aktiv

auf weitere Indikatoren. Neben einem unmittelbaren Einfluss auf KPIs, beeinflussen äußerst aktiv PIs zusätzlich weitere PIs, die selbst wiederum KPIs beeinflussen. Die Beherrschung von PI_{UAV} und PI_{emerg} ist wesentlich für die Leistungsanalyse des U-Spaces. Weitere weniger ausgeprägte PIs der Charaktereigenschaft *äußerst aktiv* sind PI_{DO} und PI_{sepa} .

- **nicht aktiv**

Mit den nicht aktiven PIs werden solche beschrieben, die nur ein träges Verhalten aufweisen. Dabei fließt einerseits die Betrachtung auf weitere PIs ein. Andererseits ist kein aktives Verhalten auf KPIs erkennbar. Änderungen im Informationsgehalt dieser Indikatoren bewirken das System lediglich geringfügig. Eine starke Ausprägung dieses Verhaltens zeigt PI_{exemp} auf. Spezielle Autorisierungen beeinflussen das gesamte System geringfügig. Signifikante Änderungen der Informationen der Services, die in diesem PI gemorpht sind, sind für die Betrachtung des U-Space unerheblich.

Aus dem aktiven Verhalten der PIs, das aus einem mittelbaren und unmittelbaren Einfluss besteht, wird die Integration der einzelnen Services im System beurteilt. Die Beherrschung der aktiven PIs bedeutet eine hohe Einflussnahme auf das System. Durch die Unterscheidung von mittelbarem und unmittelbarem Einfluss wird ausgesagt, auf welche Aspekte im System eine Änderung von Parametern sich auswirkt. Insbesondere der unmittelbare Einfluss der PIs ist für die Zielerreichung des U-Space von hoher Bedeutung, da unmittelbar aktive PIs starken Einfluss auf die KPIs ausüben.

5.3.2 Charakterisieren der Passivität von KPIs

In dieser Untersuchung wird aus Sicht der KPIs die direkte und indirekte Beeinflussung durch PIs behandelt.

Die Einflussnahme der KPIs ist bisher nur auf direkter Weise untersucht. Mit der Beeinflussungsmatrix in Tabelle 5.5 wird untersucht, welche KPIs in ihrer Indikatorenklasse beeinflusst werden. Für weitere Untersuchungen ist die Beeinflussungsmatrix in Tabelle 5.7 erstellt. Anhand dieser wird die direkte und indirekte Beeinflussung der KPIs verglichen.

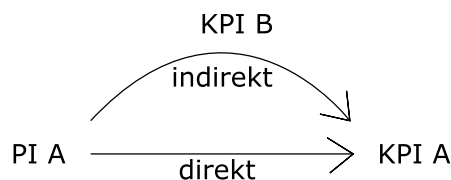


Abbildung 5.5.: Unterschied von direktem und indirektem Einfluss der Indikatoren

Ein KPI wird entweder direkt von einem PI beeinflusst oder indirekt über einen weiteren vermittelnden KPI. In Abbildung 5.5 ist dieser Zusammenhang schematisch dargestellt. Die vollständige Beeinflussung eines KPI ergibt sich aus der direkten Einflussnahme durch PIs und der indirekten Einflussnahme über weitere KPIs. Anschließend wird ausschließlich ein qualitativer Zusammenhang von direkter und indirekter Einflussnahme untersucht. Dafür werden die Passivitäten π^{KK} und π^{PK} gegenübergestellt.

π^{KK}	π^{PK}
0,583	0,529
0,417	0,314
0,750	0,686
0,500	0,510
0,500	0,412

Tabelle 5.11.: Übersicht der Passivitäten der KPIs

Aus dem Vergleich der PS der Systeme KK und PK wird die Passivität aus Kapitel 5.2 evaluiert. KPIs, die zuvor als träge oder aktiv eingestuft sind, zeichnen sich durch eine niedrige direkte Beeinflussung durch andere KPIs aus. Im System PK wird die Beeinflussung durch PIs analysiert. Nach der Definition wird durch System PK die direkte Beeinflussung untersucht. Bereits als reaktiv und kritisch eingestufte KPIs werden stark von anderen KPIs beeinflusst. Falls diese Indikatoren von PIs stark beeinflusst werden, so sind sie äußerst beeinflussbar und weisen eine außerordentliche Passivität auf. Falls dagegen diese Indikatoren schwach von PIs beeinflusst werden, so bleibt ihre Beeinflussung indirekt, da sie ausschließlich durch andere KPIs beeinflusst werden.

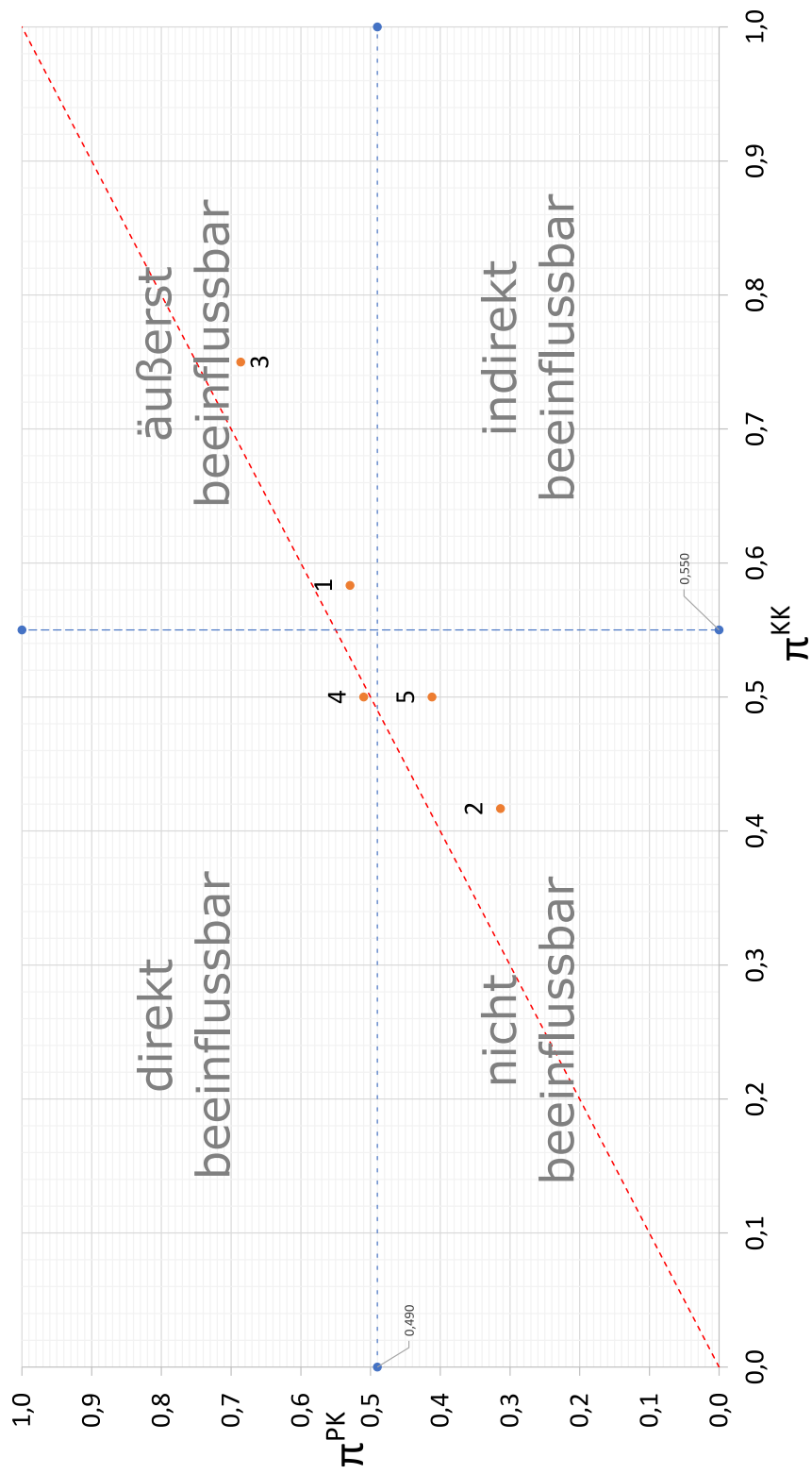


Abbildung 5.6.: Übersicht der Passivität der KPIs

Ebenso ist eine rote Diagonale eingezeichnet. Mit der Winkelhalbierenden wird die Abbildung 5.6 in die Beeinflussung durch KPIs rechts unten und durch PIs links oben strukturiert. Durch die blauen Strichlinien, die durch die Mittelwerte der PS aus Tabelle 5.11 gebildet sind, wird ein Raster mit den Eigenschaften *direkt beeinflussbar*, *äußerst beeinflussbar*, *indirekt beeinflussbar* und *nicht beeinflussbar* erstellt.

Alle KPIs befinden sich unweit der roten Diagonale. Das bedeutet, dass KPIs die stark von KPIs beeinflusst werden, ebenso stark von PIs beeinflusst werden. Ausgeprägte Indikatoren von direkter und indirekter Beeinflussung durch PIs sind optisch nicht festzustellen. Anhand der Rasterung werden die KPIs den vier Eigenschaften zugeordnet.

- **direkt beeinflussbar**

Es kann kein KPI optisch ermittelt werden, der ausschließlich direkt von PIs, nicht aber indirekt über weitere KPIs, beeinflusst wird.

- **indirekt beeinflussbar**

Es kann kein KPI optisch ermittelt werden, der ausschließlich indirekt von PIs über weitere KPIs, nicht aber direkt von PIs, beeinflusst wird.

- **äußerst beeinflussbar**

Äußerst beeinflussbare KPIs werden sowohl direkt von PIs wie von KPIs beeinflusst. Die Beeinflussung durch KPIs ist eine indirekte Beeinflussung durch PIs, da diese über weitere KPIs Einfluss ausüben. Mit KPI_{scale} existiert ein KPI, der von beiden Indikatorenklassen nahezu gleichermaßen beeinflusst wird. Sowohl im System KK wie im System PK weist die Skalierbarkeit eine hohe PS auf. Dadurch haben Änderungen von PIs und KPIs hohen Einfluss auf KPI_{scale} . Es existieren viele Möglichkeiten, die Skalierbarkeit durch Änderungen der Informationen diverser Indikatoren zu beeinflussen.

- **nicht beeinflussbar**

Demgegenüber stehen nicht beeinflussbare KPIs. Diese zeichnen sich durch niedrige PS im System KK und PK aus. Ihr Verhalten ist robust gegenüber Änderungen von Informationen. Es ist schwieriger, diese KPIs zu manipulieren. Am ausgeprägtesten vertritt diese Eigenschaft KPI_{auto} . Sein Verhalten ist resistenter gegenüber der Beeinflussung von KPIs und PIs.

Der optische Eindruck der Abbildung 5.6 vermittelt einen linearen Zusammenhang von direkter und indirekter Beeinflussung durch PIs. Von einer Regression in Form einer Korrelation ist bewusst abgesehen, da die Anzahl der KPIs, in diesem Fall fünf, nicht ausreichend ist, um eine befriedigende Signifikanz des Ergebnisses zu erreichen. Es wird keine Kausalität aus der scheinbaren Korrelation von π^{PK} und π^{KK} hergeleitet.

5.4 Diskussion der Methode und der Ergebnisse

In diesem Kapitel wird rückblickend auf die Methode und die Ergebnisse eingegangen. Das Vorgehen und die Erkenntnisse werden kritisch hinterfragt und dessen Gültigkeitsbereich diskutiert.

5.4.1 Kritik an der Methode

Die Methode, die in dieser Arbeit verwendet wird, basiert auf der Beeinflussungsmatrix von Probst und Gomez [PG89]. Durch die Weiterentwicklung der Methode, die in der Betrachtung und Verknüpfung verschiedener Systeme besteht, werden neue Untersuchungsmöglichkeiten erstellt. Die Analyse von einem unmittelbaren und mittelbaren Einfluss aus Sicht der PIs sowie einer direkten und indirekten Beeinflussung aus Sicht der KPIs ist ein Vorgehen, das allein auf den Überlegungen und Annahmen des Autors basiert. In der Literatur gibt es eine vergleichbare Auseinandersetzung mit den PIs und KPIs, anhand der die Methode dieser Arbeit verglichen und evaluiert werden kann.

Zusätzlich ist bei der Betrachtung des Einflusses und der Beeinflussbarkeit lediglich die direkte Wirkung und die Wirkung über einen vermittelnden Indikator dargestellt. Einflüsse über eine weitere Ebene ist bis hierhin nicht berücksichtigt. Sei PI_A ein Einfluss ausübender Indikator der unmittelbar auf den KPI_A wirkt. Weiterhin beeinflusst PI_A den PI_B , der KPI_A seinerseits beeinflusst, wodurch zusätzlich zum unmittelbaren Einfluss ein mittelbarer Einfluss ausgehend von PI_A auf KPI_A entsteht. Falls PI_B selbst einen unmittelbaren und mittelbaren Einfluss über PI_C auf KPI_A ausübt, prägt dies den mittelbaren Einfluss von PI_A . Schließlich besteht der Einfluss von PI_A aus mehreren Pfaden. In Abbildung 5.7 ist der Sachverhalt dargestellt.

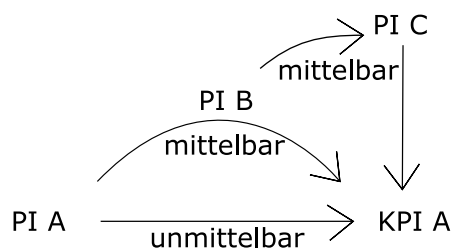


Abbildung 5.7.: Gesamteinfluss eines PIs

Die Wirkung von PI_A nimmt von vermittelnden PI zu vermittelnden PI auf KPI_A ab. Deshalb ist eine Betrachtung des mittelbaren Einflusses über mehr als einen vermittelnden Indikator ausschließlich bei stark mittelbar aktiven und äußerst aktiven PIs lohnend. Mit der Konkretisierung der Services und einer quantitativen Definition der Indikatoren gewinnt die folgende Untersuchung an Bedeutung. Anhand der mathematischen Auffassung der Indikatoren sind diese nicht mehr als Black Box beschrieben. Die Relationen, die Grundlage für die Beeinflussungsmatrix und daher für die Untersuchung von Einfluss und Beeinflussung sind, werden mit einer geringeren Unsicherheit und gegebenenfalls in feineren Aufteilungen bestimmt. Zum jetzigen Stand der Forschung ist eine Untersuchung des Einflusses über weitere Ebenen aufgrund der abstrakten Form der Services und Indikatoren nicht nutzbringend. Im gleichen Maßstab kann die indirekte Beeinflussung aus Sicht

der KPIs untersucht werden. Die Erweiterung der Methode entspricht dem beschriebenen Vorgehen.

5.4.2 Beurteilung der Ergebnisse

Abschließend wird die Identifizierung und die Untersuchung der Kenngrößen zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit beurteilt.

Alle PIs basieren bislang auf dem Servicegerüst der Drone Information Services. Da sich die Services aufgrund neuer Erkenntnisse der Forschung ändern können, sind die PIs nicht dauerhaft für das IMS für einen bodennahen unbemannten Luftraum festgelegt. Falls sich die Services in ihrer Anzahl oder Definition im Lauf der Forschung ändern, wirkt sich dies direkt auf die Identifizierung der PIs aus. Eine Änderung der PIs und dessen Relationen untereinander bewirkt eine Änderung des Einflusses und der Beeinflussung und somit auf die Ergebnisse dieser Arbeit.

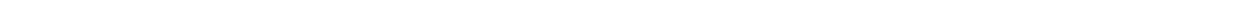
Die fünf KPIs basieren ausschließlich auf den Zielvorgaben des U-Spaces. Insbesondere der Indikator KPI_{sec} beschreibt einen umfangreicheren Sachverhalt. Eine Aufteilung des KPIs in einen sicherheitsrelevanten Aspekt, der ein Maß für die Sicherheit gegen äußere Störungen und Eingriffe widerspiegelt, und einen risiko-analytischen Aspekt, der die Abläufe und den Informationsfluss innerhalb des U-Spaces und dessen interne Funktionalität und Einhaltung der Prozessvorgaben (engl. Design Compliance) beurteilt, sortiert und teilt die Eigenschaften des KPI_{sec} wesentlich besser auf.

Schließlich wird in der Identifizierung der KPIs nicht die IT-Infrastruktur berücksichtigt, auf der das IMS aufgebaut ist. Abläufe und Berechnungen des U-Spaces basieren auf einer SOA. Der Einfluss des Cloud-Computing wird in den Indikatoren bislang nicht betrachtet. Eine Umstellung des IMS von einer SOA auf eine andere Struktur wird in dem Modell nicht berücksichtigt. Aus Sicht des Autors wäre es zielführend einen KPI zu definieren, der die IT-Infrastruktur berücksichtigt. Innerhalb dieser Ausarbeitung sind im Rahmen des Serviceportfolios und den Zielsetzungen des U-Spaces keine Möglichkeiten identifiziert, die SOA in einem qualitativen Indikator zu erfassen.

Die Methode der Beeinflussungsmatrix zur Untersuchung von Einflüssen verschiedener Elemente eines Systems ist bereits 1989 von Swiss Air durchgeführt. Für die Untersuchung ihres Geschäftsmodells hat die Fluggesellschaft ihre Dienstleistungen einzeln in einer Beeinflussungsmatrix gegenübergestellt. Zu den ermittelnden Dienstleistungen zählen wichtige Größen und Einflussfaktoren während einer Flugreise. Obwohl unterschiedliche Elemente in der Matrix betrachtet sind, können teilweise ähnliche Ergebnisse zu dieser Arbeit festgestellt werden. Die Fluggesellschaft hat aufgrund ihrer Relationen ebenfalls ihre Dienstleistungen in einem Raster angeordnet und ihnen die Eigenschaften *aktiv*, *kritisch*, *reaktiv* und *träge* zugeordnet [Ché89]. Trotz der Betrachtung unterschiedlicher Elemente und eines unterschiedlichen Systems sind in beiden Fällen Formalitäten als träge Elemente ermittelt. In dieser Arbeit werden formale Aspekte in PI_{law} festgehalten.

Bei Swiss Air ist das Service-Angebot am Flughafen und in der Luft als kritische Variable deklariert. Das Service-Angebot stellt das Kerngeschäft einer Fluggesellschaft dar und bildet die Tätigkeiten

während einer Mission ab. In dieser Arbeit sind PI_{sepa} und PI_{emerg} die beiden kritischen Indikatoren des Serviceportfolios. Ebenso betrachten beide PIs Aktivitäten während der Ausführung einer Mission und stellen eine Parallele zu den Ergebnissen der Untersuchung von Swiss Air dar. In den beiden Kategorien der Eigenschaften *aktiv* und *reaktiv* sind keine übereinstimmende Erkenntnisse zwischen dieser Ausarbeitung und den Ergebnissen von Swiss Air feststellbar.



6 Fazit

Zum Ende der Arbeit wird rückblickend auf die Forschungsfrage eingegangen. Die Ergebnisse werden in Kapitel 6.1 zusammengefasst und evaluiert. Dafür wird für die PIs die Aktivität und für die KPIs die Passivität in einer qualitativen Aufteilung in drei Stufen in einer Tabelle übersichtlich aufbereitet. Anhand dieser Übersicht werden wichtigsten Ergebnisse des unmittelbaren und mittelbaren Einflusses der PIs auf KPIs und der direkten und indirekten Beeinflussung der KPIs durch PIs beschrieben. Anschließend wird ein Ausblick gegeben, welche weiteren Möglichkeiten und Untersuchungen durch die Indikatoren und mit den Indikatoren durchgeführt werden können.

6.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Zu Beginn sind 17 PIs und fünf KPIs für das IMS für den unbemannten Luftverkehr identifiziert und in Kapitel 4 beschrieben. Im Anschluss sind die insgesamt 22 Indikatoren untersucht, um dem System Eigenschaften zuzuordnen und das Verhalten von Teilaspekten zu bestimmen. Dafür sind Informationsabhängigkeiten in Form von Relationen ermittelt, durch die das Verhalten einzelner Elemente im System qualitativ analysiert ist. Abschließend werden die wichtigsten Erkenntnisse der Aktivitäten der PIs und der Passivitäten der KPIs zusammengefasst. Da die Analyse zur Charakterisierung der Indikatoren rein qualitativ ist, genügt eine Zusammenfassung der AS und PS in drei Ausprägungsstufen. Die Aktivitäten der PIs wird für den unmittelbaren und mittelbarem Einfluss in die Stufen *stark*, *normal* und *gering* eingeteilt. Tabelle 6.1 fasst alle Aktivitäten der PI rein qualitativ zusammen.

	Einfluss der PIs auf KPIs					
	unmittelbar			mittelbar		
	stark	normal	gering	stark	normal	gering
PI_{aero}			×	×		
PI_{geo}			×		×	
PI_{wx}			×	×		
PI_{UAV}	×			×		
PI_{DO}	×				×	
PI_{com}		×			×	
PI_{nav}	×					×
PI_{surv}	×				×	
PI_{plan}			×			×
PI_{sepa}		×		×		
PI_{konf}		×			×	
PI_{post}		×			×	
PI_{emerg}	×			×		
PI_{note}		×			×	
PI_{law}		×				×
PI_{risk}		×				×
PI_{exemp}			×			×

Tabelle 6.1.: Überblick der Aktivitäten der PIs

Die Einteilung in die Stufen *stark*, *normal* und *gering* erfolgt nicht nach einem mathematischen Modell, sondern sie basiert auf der Anzahl der Indikatoren. Unabhängig von den konkreten Werten der genormten AS ist die Einteilung so vorgenommen, dass fünf PIs in *stark*, fünf PIs in *gering* und die restlichen sieben PIs in *normal* eingeteilt sind. In Tabelle 6.1 ist der unmittelbare Einfluss der PIs auf die KPIs, der durch α_{pK} charakterisiert ist, beschrieben. Die zweite Spalte ist der mittelbare Einfluss der PIs und wird durch α_{pp} beschrieben.

Insbesondere PI_{aero} , PI_{geo} und PI_{wx} weisen einen starken Unterschied zwischen unmittelbarem und mittelbarem Einfluss auf. Alle drei PIs werden durch gemorphte Services gebildet, die Informationen durch äußere Einflüsse und Umweltfaktoren verarbeiten. In allen in den drei PIs enthaltenen Services beschreiben die Daten, die von außen in das System U-Space einfließen. Sie wirken durch ihre Informationen auf weitere PIs ein, allerdings nicht unmittelbar auf KPIs. Weitere PIs dienen als Vermittler des Informationsgehaltes von PI_{aero} , PI_{geo} und PI_{wx} . Bei der Auslegung des IMS sind deshalb diese drei PIs unbedingt zu berücksichtigen, da sie trotz des geringen unmittelbaren Einflusses auf die KPIs und somit die Zielerreichungen des U-Space wenig Wirkung haben, aber durch ihren mittelbaren Einfluss stark im System vernetzt sind.

Dem gegenüber stehen PI_{plan} , PI_{risk} und PI_{exemp} , die sich durch keine besondere Einflussnahme im System integrieren. In allen vier Fällen werden primär Formalitäten und administrative Tätigkeiten beschrieben. Derartige Aktivitäten nehmen geringen Einfluss auf das System. Allerdings zeichnen sich PI_{plan} und PI_{risk} durch eine hohe PS π_{pp} aus. Eine hohe PS bei zugleich einer kleinen AS bedeutet nach Probst und Gomez ein reaktives Verhalten. Reaktive Elemente eignen sich gut als Indikatoren. Da in dieser Arbeit die Beeinflussung von PIs nicht weiter untersucht ist,

können keine weiteren Erkenntnisse aus dem reaktiven Verhalten der beiden PIs geschlossen werden.

In gleicher Weise wird die Passivität der KPIs dargestellt. Aus Sicht der KPIs besteht eine direkte und eine indirekte Beeinflussung von PIs. In Tabelle 6.2 sind die Beeinflussungen der KPIs in die Stufen stark, normal und gering eingeteilt.

	Beeinflussung der KPIs durch PIs					
	direkt			indirekt		
	stark	normal	gering	stark	normal	gering
KPI_{safe}		×			×	
KPI_{auto}			×			×
KPI_{scale}	×			×		
KPI_{int}		×			×	
KPI_{sec}		×			×	

Tabelle 6.2.: Überblick der Passivitäten der KPIs

Die Beeinflussung der KPIs zeigt keine signifikanten Unterschiede im direkten und indirekten Verhalten auf. Stark beeinflussbare KPIs werden sowohl von PIs wie von weiteren KPIs geprägt. Dieses Verhalten weist KPI_{scale} auf. Die Skalierung, die Reaktion und die Anpassungsfähigkeit des Systems auf verschiedenen Größenordnungen des Verkehrsaufkommens werden von diversen Faktoren im System beeinflusst. Auf diesen Indikatoren kann aufgrund seiner hohen absoluten Beeinflussbarkeit durch verschiedene Maßnahmen eingewirkt werden. Es existieren viele Möglichkeiten, um die Skalierbarkeit im System zu beeinflussen.

Gering beeinflussbare KPIs werden dagegen weder von PIs noch von KPIs in besonderer Weise bestimmt. Die Automatisierung, die durch KPI_{auto} ausgedrückt wird, reagiert sehr träge gegenüber Änderungen im System. Dieser Indikator lässt sich lediglich geringfügig beeinflussen. Dadurch bestehen nicht viele Möglichkeiten, die Automatisierung im System zu ändern. Allerdings weist KPI_{auto} die höchste Aktivität der KPIs auf. Sein α_{KK} beträgt über 80% des maximal erreichbaren Wertes und ist damit äußerst aktiv. Trotz der niedrigen Beeinflussbarkeit ist die Automatisierung dennoch stark im System integriert. Die Aktivität der KPIs ist nicht weiter untersucht. Erkenntnisse zu den AS der KPIs können daher nicht ermittelt werden.

6.2 Ausblick

Im letzten Punkt werden mögliche anschließende Untersuchungen auf Basis dieser Arbeit vorgeschlagen und Möglichkeiten zur Weiterentwicklung des Modells gegeben. Zusätzlich wird die genutzte Methode kritisch hinterfragt und die Vor- und Nachteile des Modells erklärt.

In Kapitel 6.1 ist bereits vermerkt, dass die Passivität der PIs bisher nicht im Detail untersucht ist. Die Möglichkeit des Vergleiches der Passivitäten der PIs einerseits durch PIs andererseits durch KPIs existiert nicht. Es wird keine Betrachtung des Einflusses von KPIs aus PIs vorgenommen, da aufgrund der Definition der Indikatoren eine rangabwärtige Einflussnahme nicht möglich ist.

Allerdings bestehe die Möglichkeit, die Passivität der PIs im Detail zu untersuchen. In diesem Fall würde konkret untersucht, von welchen PIs ein PI beeinflusst wird. Insbesondere die Beeinflussung durch mittelbar aktive PIs lässt sich durch dieses Verfahren analysieren.

Ebenfalls ist die Aktivität der KPIs nicht im Detail untersucht. Derartige Betrachtungen können Aufschluss über Wechselwirkung von KPIs ergeben. Dies wäre beispielsweise dann der Fall, wenn $R_{ij} = R_{ji}$ ist. Unter Berücksichtigung des Einflusses von PIs würde eine Vernetzung entstehen, die die Abhängigkeiten und Rückführungen von Informationen vollständig beschreiben würde. Bereits in Kapitel 5.4.2 ist bisher aufgezeigt, welche Möglichkeiten weiterhin bestehen, den Einfluss und die Beeinflussbarkeit der Indikatoren präziser zu beschreiben. Ein mittelbarer Einfluss der PIs und eine indirekte Beeinflussung der KPIs über weitere vermittelnde PIs bzw. KPIs ist bisher nicht berücksichtigt. Zur vollständigen Betrachtung der Informationsabhängigkeiten können die Argumente zur Analyse hinzugezogen werden.

An dieser Stelle sei erneut angemerkt, dass alle Relationen, durch die drei Beeinflussungsmatrizen aufgebaut sind, allein auf den Annahmen des Autors basieren. Die Beträge der Relationen sind rein subjektiv erfasst und es liegen keine standardisierten Argumente zu Grunde. Zur Optimierung und Präzisierung der Eigenschaften der Indikatoren können die Relationen überprüft, evaluiert und entsprechend angepasst werden. Spätestens durch Änderungen des Service Portfolio entsteht eine neue Grundlage für die Identifikation der PIs. Eine erneute Identifikation der Indikatoren verwirft die in der Beeinflussungsmatrix hinterlegten Begründungen, da alle Relationen auf relativen Gegenüberstellungen beruhen und in einem Vergleich zueinanderstehen. Auf der anderen Seite sind im Konzept der Beeinflussungsmatrix und den daraus resultierenden Erkenntnissen keine weiteren Annahmen getroffen. Das Modell der Relationen ist an keine maximale Anzahl von Indikatoren gebunden. Falls es für das Anwendungsgebiet sinnvoll ist eine größere Anzahl von Indikatoren zu untersuchen, sind in den Beeinflussungsmatrizen keine Begrenzungen oder Limitationen vorhanden. Ebenso lässt sich die Skalierung der Beträge der Relationen ändern. Die in dieser Arbeit gewählte Einteilung in vier Stufen von null bis drei kann durch eine größere und feinere Aufteilung zu einer Präzision der Relationen für die Informationsabhängigkeiten führen. Insbesondere durch die Konkretisierung der Services und durch deren mathematische Abbildung im U-Space können die PIs aus den Metriken in tatsächlichen Zusammenhängen dargestellt werden. Eine Einteilung der Relationen kann in diesem Fall in feineren Abstufungen erfolgen.

Glossar

ACL Mit dem Autonomous Control Level wird der Automatisierungsgrad der UAVs bestimmt [Clo02].

AV *siehe UAV*

BRLOS Beyond Radio Line-Of-Sight beschreibt die Situation, wenn Transmitter und Receiver nicht direkt miteinander verbunden sind und stattdessen einen Vermittler in Form eines Satelliten-Systems oder bodenbasierten Netzwerk nutzen [Eura].

BVLOS Beim Beyond Visual Line-of-Sight ist der Pilot durch Hilfsmaßnahmen - eine weitere in Funkkontakt stehende Person oder durch elektronische Unterstützung - für den Betrieb angewiesen. Einen direkten Sichtkontakt zum Flugobjekt und dessen unmittelbare Umgebung besteht nicht [Mir18].

Catching-Up Conflict *siehe Merging Conflicts*

Cloud-Computing Unter Ausnutzung [und Beanspruchung] virtualisierter Rechen- und Speicherressourcen und moderner Web-Technologien stellt Cloud-Computing skalierbare, netzwerkzentrierte, abstrahierte IT-Infrastrukturen, Plattformen und Anwendungen als on-demand Dienste zur Verfügung [BKNT11].

Critical Success Factor CSFs sind eine limitierte Anzahl von Bereichen und Arbeitsgebieten, in denen zufriedenstellende Ergebnisse eine erfolgreiche Wettbewerbsfähigkeit für eine Organisation implizieren [BR81].

Goal Ein Goal ist eine definierten Zielerreichung, die zu einer bestimmten Zeit erreicht sein soll. Goals sind somit operative Transformationen eines oder mehreren Objectives [BR81].

Information Informationen stellen Bezüge zwischen Sachverhalten her und übertragen Wissen und Kenntnisse. Der Austausch von Informationen, demnach die Übermittlung von Nachrichten und deren anschließende Deutung, wird als Kommunikation bezeichnet [NBSS18] [DIN88].

KPI Key Performance Indicators sind Kennzahlen, die sich auf ein Team konzentrieren und einzelne Aktivitäten betrachten. Sie fokussieren spezielle Aspekte eines Unternehmens. KPIs geben wieder, wie erfolgreich innerhalb der CSF Arbeit verrichtet wird [Par15].

KRI Key Result Indikatoren zeigen dem Management, wie gut ein Team zusammen agiert. Sie geben die Messung eines Resultats an. KRIs werden als Zusammenfassung aufgefasst, ob ein Unternehmen sich mit der richtigen Geschwindigkeit in die durch die Goals and Objectives festgelegten Zielrichtungen bewegt [Par15].

Kritische Erfolgsfaktor *siehe Critical Success Factor*

LoX Ein Loss-of-X bedeutet den Verlust einer Funktion oder eines Zustandes eines UAS. Dazu gehören Loss-of-Engine (LoE), Loss-of-Connection (LoC), Loss-of-Separation (LoS), Loss-of-Link (LoL) und Loss-of-GNSS (LoG).

Management by System Unter Management-by-System wird eine Systemsteuerung verstanden. Alle Glieder einer Organisation werden durch Computerunterstützung in eine Umgebung integriert. Dadurch entsteht ein Netzwerk von verknüpften Elementen. Zwischen diesen Elementen werden Interaktionen verrichtet. Das Management-by-System ist letztendlich der Akteur, der bestimmt, welche Prozesse wann und wie durchgeführt werden. Es handelt sich dabei meist um automatisierte Programme für einen zielorientierten Arbeitsablauf [Häu77][TAG⁺17].

Merging Conflicts Merging Conflicts treten dann auf, wenn zwei AVs auf der gleichen Trajektorie das gleiche Ziel ansteuern und keine ausreichende zeitliche Staffelung haben. Das nachfolgende AV operiert zu dicht am vorderen AV - catching-up conflict. Ereignisse wie diese treten vermehrt bei erhöhtem Verkehrsaufkommen auf. Die Gefahr eines Domino-Effektes entsteht sobald die Auflösung dieses Problems einen neuen Konflikt bewirkt, analog zum Stau im Berufsverkehr [NBJ⁺18].

Messung Eine Messung ist eine Menge oder ein Grad einer Beobachtung [Mer].

Metrik Eine Metrik entsteht durch Bildung von Derivativen der Messungen [Sav16]

Objective Objectives sind allgemeine Aussagen über die Richtungen eines Unternehmens. Sie besitzen keine Aussagekraft über die genaue Zielrichtung oder vorgegebene Zeitpunkte [BR81].

PI *siehe KPI*

RI *siehe KRI*

RLOS Radio Line-Of-Sight bedeutet die direkte Verbindung zwischen Transmitter und Receiver mittels einer korrelativen Radiofrequenz [Eura].

RPAS Ein Remotely Pilot Aircraft System ist ein UAS für den Fall, dass das Luftfahrzeug nicht autonom, sondern von einem Piloten am Boden gesteuert wird [Eura].

Semantische Interoperabilität Semantischen Interoperabilität beschreibt die exakte Bedeutung von ausgetauschten Informationen, die von allen Beteiligten verstanden wird [Wil17].

Serviceorientierte Architektur Mit einer SOA wird ein Architekturstil beschrieben, durch den Effizienz, Agilität und Produktivität einer Organisation verbessert werden sollen. Um dieses Vorhaben zu realisieren, benötigt es Services, die untereinander kommunizieren. Charakterisiert werden sie durch ihre Anforderungen, Schnittstellen, Quelltexte und Qualitätsmerkmale [Erl10].

Software as a Service Bei der SaaS-Ebene hat ein Nutzer Zugang zu einer Anwendung, im Allgemeinen zu einem Service. Die Schnittstelle erfolgt über einen Client. Dieser kann entweder über einen Web-Browser oder ein Programm Interface abgebildet sein. Wegen der Hinterlegung der Services auf einem Cloud-Server muss der Nutzer Anwendungen nicht auf seinem Endgerät installieren. Nutzer haben keinen Zugriff auf die Cloud-Infrastruktur. Hierzu zählen das Netzwerk, Server, Datenbanken oder individuelle Anwendungssoftware [MG].

Stakeholder Als ein Stakeholder wird ein Anspruchsberechtigter oder ein Interessenvertreter bezeichnet [dic].

STOL Short Take-Off and Landing bezeichnet die Eigenschaft von AVs, die im Vergleich zu herkömmlichen Flugzeugen, auf kurzen Strecken starten und landen können [KM04].

Subsystem Elemente eines Systems, die selbst ein System abbilden, werden als Subsystem bezeichnet.

System Ein System im Allgemeinen stellt eine Verbindung von Elementen dar. Die Elemente, bezeichnend für Teile und Komponenten eines Systems, sind Module einer Organisation. Ein System besteht aus einer Ansammlung von relativ zueinanderstehenden Bestandteilen einer Gesamtheit [Bee62].

SWIM SWIM umfasst Standards, Infrastruktur und Steuerungen, die die Verwaltung von ATM-relevanten Informationen und deren Austausch zwischen qualifizierten Parteien über interoperable Services ermöglichen [Int11].

Teilsystem *siehe Subsystem*

U-Space U-Space ist eine Reihe neuer Dienste, die sich auf ein hohes Maß an Digitalisierung und auf einen sicheren und effizienten automatisierten Zugang zu Funktionen und Prozeduren stützen, die den Luftraum für eine hohe Anzahl an Drohnen-Aufkommen unterstützen soll. Als solcher ist der U-Space ein Rahmenwerk, der entwickelt wurde, um jede Art von Routineeinsätzen in allen Klassen von Lufträumen und allen Arten von Umgebungen zu ermöglichen. Währenddessen soll eine angemessene Schnittstelle zur bemannten Luftfahrt und der Flugsicherungen gewährleistet werden [Gui].

UAS Ein unbemanntes Luftfahrzeugsystem (UAS) umfasst einzelne Systemelemente, die aus einem unbemannten Luftfahrzeug, der Kontrollstation und allen anderen für den Flug erforderlichen Systemelementen bestehen, zu denen Kommunikationsverbindungen und Start- und Landeelemente zählen. Es können mehrere Kontrollstationen, Kommunikationsschnittstellen sowie Start- und Landeelemente zu einem UAS zugeordnet werden [Eur09].

UAV Ein Unmanned Aerial Vehicle ist ein Luftfahrzeug ohne einem On-Board Piloten. Es ist Bestandteil eines UAS [Dav08].

Use Case Use Cases beschreiben Anwendungsfälle eines Systems. Ein Nutzer agiert zielgerichtet auf ein modellbasiertes System, welches sein Verhalten nach außen zeigt. Damit wird die Funktionalität des Systems in bestimmten Situationen charakterisiert. Dabei ist der Nutzer sehr allgemein gehalten und kann entweder eine Person, eine Rolle oder ein anderes System sein. Die Benennung erfolgt anhand der erwünschten Zielerreichung aus Sicht des Nutzers. Beurteilungen von Use Cases können einen Erfolg oder ein Scheitern des betrachteten Use Cases aussagen. Da die Analyse verschiedener Szenarien von Schnittstellen zwischen System und Nutzer die Funktionalität eines Systems mit definieren, werden Use Cases vermehrt in der Produktentwicklung genutzt [Hab15] [mic18].

VLOS Visual Line-of-Sight bedeutet die Ausführung von Flugoperationen und -missionen basierend auf einem direkten visuellen Kontakt zum Fluggerät. Der Pilot hat sein Umfeld und sein Flugobjekt stets in Blickkontakt [Mir18].

VTOL Vertical Take-Off and Landing bezeichnet die Eigenschaft eines AVs vertikal landen und starten zu können [KM04].

Literaturverzeichnis

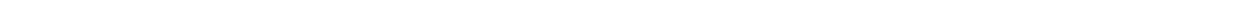
- [Air] Airbus. A statistical analysis of commercial aviation accidents 1958-2017.
- [Bee62] Stafford Beer. *Kybernetik und Management: Welt im Werden*. Fischer-Paperbacks : Welt im Werden. S. Fischer, Frankfurt am Main, 1962.
- [BJS⁺18] C. Michael Büddefeld, Dominik Janisch, Marta Sánchez, Francisco Navarro, Javier Espinosa, Neil Kidd, and Aleksej Majkic. [dx.x deliverable name]: Drone information users' requirements: D2.1. D2.1, 06.04.2018.
- [BKNT11] Christian Baun, Marcel Kunze, Jens Nimis, and Stefan Tai. *Cloud Computing: Web-basierte dynamische IT-Services*. Informatik im Fokus. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2. aufl. edition, 2011.
- [BPM⁺18] Karthik Balakrishnan, Joe Polastre, Jessie Mooberry, Richard Golding, and Peter Sachs. Blueprint for the sky: The roadmap for the safe integration of autonomous aircraft. 06.09.2018.
- [BR81] V. Christine Bullen and F. John Rockart. *A Primer on Critical Success Factors: CISR No. 69*. Sloan wp no. 1220-81, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 06.1981.
- [Bul17] Violeta Bulc. *U-space: Blueprint*. Publications Office, Luxembourg, 2017.
- [Bun18] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. Die neue drohnen- verordnung: Bmvi, März 2018.
- [Car16] Bill Carey. Nasa drives vision of air traffic management for drones, 22.12.2016.
- [Ché89] Philippe Chéhab. *Vernetztes Denken - Praxis in der SWISSAIR: Dargestellt am Beispiel der "Überprüfung unserer Dienstleistung"*. Gabler Verlag, Wiesbaden, 1989.
- [Clo02] Bruce Clough. Metrics, schmetrics! how do you track a uav's autonomy?, 20.05 - 23.05.2002.
- [Dav08] Douglas Davis. Uas interim operational approval guidance: Air-160. AIR-160, 13.03.2008.
- [DFS18] DFS Deutsche Flugsicherung GmbH. Sicherer sichtflug: Tipps und informationen zum sicheren fliegen in deutschland. 2018.
- [dic] dict.cc. Deutsch-englisch-wörterbuch.
- [DIN88] DIN. 44 300: Begriffe - definitionen und erklärungen, 11.1988.
- [DPV09] Konstantinos Dalamagkidis, Les A. Piegł, and Kimon P. Valavanis. *On integrating unmanned aircraft systems into the national airspace system: Issues, challenges, operational*

-
- restrictions, certification, and recommendations*, volume 36 of *International series on intelligent systems, control, and automation: science and engineering*. Springer, [Dordrecht], 2009.
- [DS17] Dov Dori and Hillary Sillitto. *What is a System? An Ontological Framework*. Research paper, Isreal Institute of Technology, Technion, 05.01.2017.
- [EC89] Hermann Engesser and Volker Claus, editors. *Duden Informatik: Ein Sachlexikon für Studium und Praxis*. Dudenverl., Mannheim, korrigierter nachdr edition, 1989.
- [EN92] Niclas Eberhagen and Mansour Naseroladl. *Critical Success Factor: A Survey*. PhD thesis, Växjö University, Schweden, 05.1992.
- [Erl10] Thomas Erl. *SOA: Entwurfsprinzipien für serviceorientierte Architektur*. Programmer's Choice. Addison Wesley, München, [repr. der ausg. 2008] edition, 2010.
- [Eura] Eurocontrol. Rpas atm conops: Edition 4.0. Edition 4.0.
- [Eurb] Eurocontrol. Sits at the heart of regulatory, research and operational drone integration work.
- [Eur09] European Aviation Safety Agency. E.y013-01_uas_policy: Policy statement airworthiness certification of unmanned aircraft systems (uas), 2009.
- [Eur17] European Aviation Safety Agency. Notice of proposed amendment 2017-05 (b): Introduction of a regulatory framework for the operation of drones: Unmanned aircraft system operations in the open and specific category: Rmt.0230. RMT.0230, 12.05.2017.
- [Eur18] Eurocontrol. About: Who we are, 2018.
- [Fün00] Sandra Füngeling. Critical sucess factors: Bei der umsetzung der verwaltungsreform in bibliotheken: Band 24. Band 24, 04.2000.
- [Gol13] Anne Golombek. Bi-grundlagen: Kennzahlen und kpis, 18.02.2013.
- [Gui] Florian Guillermet. European atm master plan: Roadmap for the safe integration of drones into all classes of airspace.
- [Hab15] Reinhard Haberfellner, editor. *Systems Engineering: Grundlagen und Anwendungen*. Orell Füssli, Zürich, 13., aktualisierte aufl. edition, 2015.
- [Häu77] Joachim Häusler. *Führungssysteme und -modelle*, volume H. 7 of *Veröffentlichungen der Stiftung Gesellschaft und Unternehmen*. Hanstein, Köln, 1977.
- [Ind01] Industrieanlagen-Betriebsgesellschaft mbH. Integration of unmanned aerial vehicles into future air traffic management: Final report. Final Report, 07.12.2001.
- [Int08] International Civil Aviation Organization. Doc 9613: Performance-based navigation (pbn): Manual. Manual, 2008.
- [Int11] Internationale Zivilluftfahrtorganisation. Manual on system wide information management (swim) concept: Doc 10039. Doc 10039, 05.2011.

-
- [Joi10] Joint Air Power Competence Center. Strategic concept of employment for unmanned aircraft systems in nato. 01.2010.
- [KA08] Klaus Kerth and Heiko Asum. *Die besten Strategietools in der Praxis: Welche Werkzeuge brauche ich wann? Wie wende ich sie an? Wo liegen die Grenzen?* Hanser, München, 3., erw. aufl. edition, 2008.
- [Kli16] Uwe Klingauf. Sichere avioniksysteme: Technische zuverlässigkeit von systemen: Sommersemester 2016, 13.04.2016.
- [KM04] Niels Klußmann and Arnim Malik. *Lexikon der Luftfahrt*. Springer, Berlin and Heidelberg, 2004.
- [Krc05] Helmut Krcmar. *Informationsmanagement*. Springer, Dordrecht, 2005.
- [LNP16] Joshua M. Levin, Meyer Nahon, and Aditya A. Paranjape. Aggressive turn-around manoeuvres with an agile fixed-wing uav. *IFAC-PapersOnLine*, 49(17):242–247, 2016.
- [Mar18] Antonia Marchetto. New regulatory framework for uas: Cept workshop on spectrum for drones/uas: Your saftey is our mission., 29.05.2018.
- [Mer] Merriam-Webster Inc. Definition of measure: Entry 1 of 2: measure (noun).
- [MG] Peter Mell and Timothy Grance. The nist definition of cloud computing: Recommendations of the national institute of standards and technology. In *NIST Special Publication 800-145*, volume National Institute of Standards and Technology, pages 2–3.
- [mic18] microTOOL GmbH. Was sind use cases? – wissen online, 2018.
- [Mir18] Marcello Mirabelli. Uas interim operational approval guidance: Unmanned aircraft systems operations in the u. s. national airspace system. 13.03.2018.
- [MR02] Mark W. Maier and Eberhardt Rechtin. *The art of systems architecting*. CRC Press, Boca Raton, Fla., 2. ed., [nachdr.] edition, 2002.
- [NBJ⁺18] Francisco A. Navarro, C. Michael Büddefeld, Dominik Janisch, Pablo Sánchez-Escalonilla, Hugo Eduardo, Javier Espinosa, Philip Binks, and Aleksej Majkic. Drone information services: D2.2: Drone information management. Drone Information Management, 17.07.2018.
- [NBSS18] Friedemann W. Nerdinger, Gerhard Blickle, Niclas Schaper, and Marc Solga. *Arbeits- und Organisationspsychologie*. Springer-Lehrbuch. Springer Berlin, Berlin, 4., vollst. überarb. auflage 2019 edition, 2018.
- [Par15] David Parmenter. *Key Performance Indicators: Developing, implementing, and using winning KPIs*. Wiley, Hoboken, New Jersey, third edition edition, 2015.
- [Pet06] T. Eric Peterson. The big book of key performance indicators. 01.01.2006.
- [PG89] Gilbert J. B. Probst and Peter Gomez. *Vernetztes Denken: Unternehmen ganzheitlich führen*. Gabler Verlag, Wiesbaden, 1989.

-
- [PG17] Jorge Pereira and Dominique Guillerm. System wide information management: Swim: Civil-military refelctions. *CMAC CNS Technical Leaflet*, 2017(10), 28.04.2017.
- [RT15] Frédéric Rooseleer and Vincent Treve. Recat-eu: European wake turbulence categorisation and separation minima on approach and departure. 15.07.2015.
- [Sav16] Aleksey Savkin. The difference between quantification, measure, metric, and kpi, 30.10.2016.
- [SES16] SESAR Joint Undertaking. *European_drones_outlook_study_2016: Unlocking the value for europe*. 11.2016.
- [SES18a] SESAR Joint Undertaking. *Information management portal to enable the integration of unmanned systems: Impetus*, 2018.
- [SES18b] SESAR Joint Undertaking. *Sesar: Discover sesar: Modernisierung des flugverkehrsmanagements in europa*, 2018.
- [SP18] Florian Suchan and Jan Pertz. *Nutzen des cloud computing für das start-up papershift: Monolith vs microservice*, 10.12.2018.
- [Ste15] Christine Stewart. Information service reference model (ismr): Sesar factsheet. *SESAR Factsheet*, (01):1–4, 2015.
- [TAG⁺17] Jean-Paul Thommen, Ann-Kristin Achleitner, Dirk Ulrich Gilbert, Dirk Hachmeister, and Gernot Kaiser. *Allgemeine Betriebswirtschaftslehre. Lehrbuch*. Springer Gabler, Wiesbaden, 8., vollständig überarbeitete auflage edition, 2017.
- [Tak17] Daniel Takai. *Architektur für Websysteme: Serviceorientierte Architektur, Microservices, domänengetriebener Entwurf*. Hanser eLibrary. Hanser, München, 2017.
- [Tay17] Jonathan Taylor. What is a kpi, metric or measure?, 22.02.2017.
- [Udo16] Andreas Udovic. Herausforderung an die sicherheit und security bei der integration von unbemannten luftfahrtsystemen, 30.11.2016.
- [Uni] Unifly NV. Dfs drohnenapp für android betriebssysteme.
- [uni16] unilytics. Kpi analysis with kpi karta, 2016.
- [Usm10] Ahmad Usmani, editor. *System Wide Information Management: Integrated Communications, Navigation and Surveillance Conference (ICNS), 2010*, Piscataway, NJ, 12.05.2010. IEEE.
- [van06] Peter van Blyenburgh. *Uav systems: Global review*, 09.03.2006.
- [VV15] Kimon P. Valavanis and George J. Vachtsevanos, editors. *Handbook of unmanned aerial vehicles*. Springer, Dordrecht, 2015.
- [War17] John Warburton. Doc 9869: Performance-based communication and surveillance, 11.-15.09.2017.

-
- [War18] Graham Warwick. Mitre proposes surveillance for large urban drone fleets: Research shows limits to ads-b capacity at high density: Drone-to-drone subnetwork would complement lte. *Aviation Week*, 2018(Okttober 1-14):68, 2018.
- [WH04] Roland Weibel and R. John Hansman. Safety considerations for operation of different classes of uavs in the nas. In E. Roland Weibel and John Hansman, editors, *AIAA 3rd Aviation Technology, Integration and Operations (ATIO) Forum*, page 54, [Reston, VA], 2004. [American Institute of Aeronautics and Astronautics].
- [Wil17] Scott Wilson. Airm primer: Airm - atm information reference model: Edition 04.01.00. Edition 04.01.00, 30.03.2017.

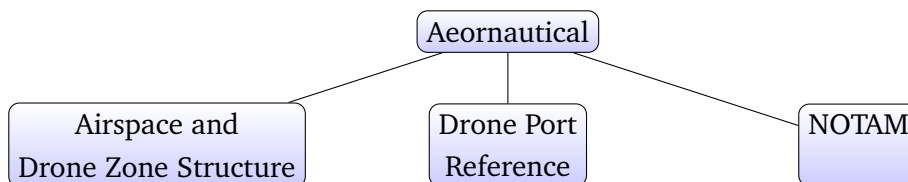


A Service Portfolio

Für die Benennung der Services werden die originalen Termini verwendet. In der Auflistung sind zudem die Notationen mit aufgeführt, die in der späteren Arbeit genutzt werden.

A.1 Aeronautical

Aeronautische Informationen werden in drei Services festgehalten.



A.1.1 Airspace and drone zone structure

Nach den Drone Information Services spielt die Einteilung der Lufträume (engl. Drone Zones) für den U-Space eine signifikante Rolle. Bei der Einführung der Drone Zones muss die Koexistenz des bemannten Luftraumes beachtet werden. Zu jeder Zeit muss eine Drone Zone sicheren Zugang zum Luftraum bieten und darf keine Sicherheitseinschränkungen für die bemannte Luftfahrt mit sich bringen. Insbesondere in urbanen Gebieten, in denen mit einem erhöhten Verkehrsaufkommen der UAS gerechnet wird, müssen Separationsminima eingehalten werden, da eine Kollision mit anderen Verkehrsteilnehmern und ein folgender Absturz einen Personenschaden mit sich bringen kann.

Lufträume lassen sich in statische und dynamische Zonen unterteilen. Bei statischen Drone Zones findet keine räumliche Veränderung über der Zeit statt. Ein Großteil der Lufträume der bemannten Luftfahrt sind statisch und sind von einem zeitlichen Faktor aus gesehen konstant. Dynamische Lufträume dagegen sind räumlich flexibel. Änderungen können stündlich oder sogar minütlich stattfinden. Durch ein sehr hohes Verkehrsaufkommen können durch adaptive Lufträume weitere Kapazitäten geschaffen werden. Teilweise wird diese Vorgehensweise notwendig, wenn wetterbedingt eine Drone Zone angepasst werden muss. Allerdings werden Flugplanungen durch ein derartiges dynamisches Verhalten nur schwer zu prognostizieren sein. Zudem können private Hobbynutzer durch eine starke fluktuierende Anordnung der Lufträume verunsichert werden und verlieren somit ihr Situationsbewusstsein für eine sichere Ausführung ihrer Operationen.

Mögliche Szenarien, wie ein Luftraum gestalten werden kann, sind im Airbus Blueprint festgehalten [BPM⁺18].

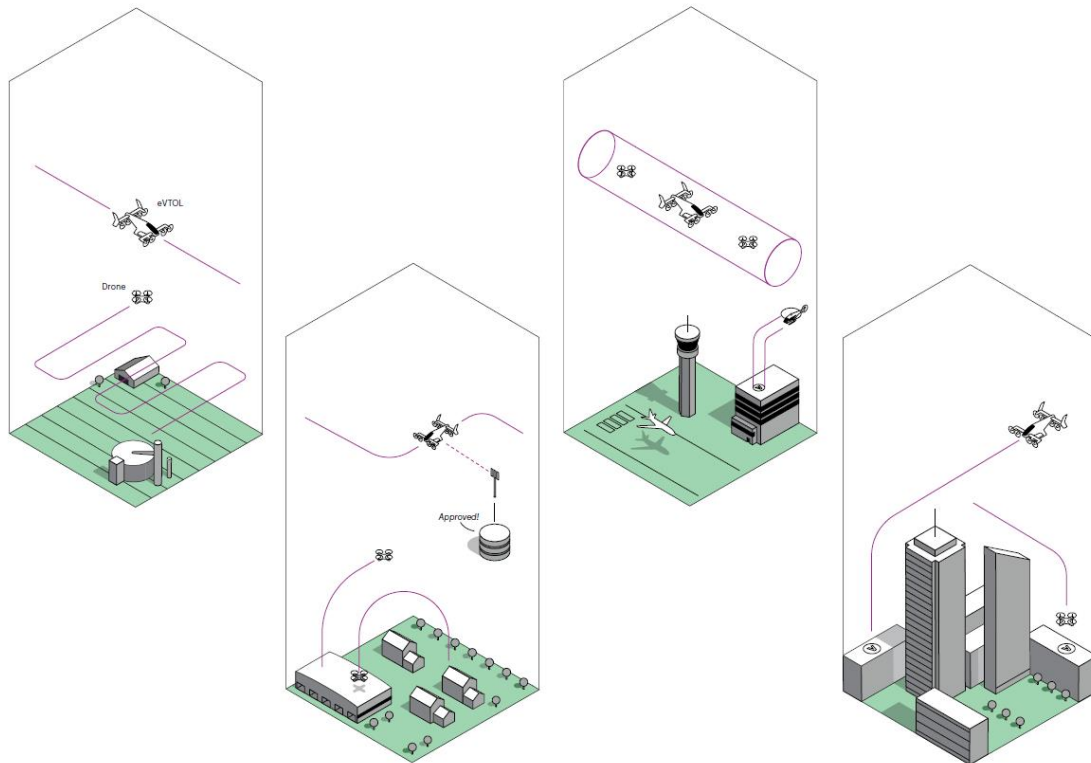


Abbildung A.1.: v.l.n.r.: Basisflug: Keine Luftraumeinteilung, die Verantwortung liegt beim UAS Operator; Freie Routen: UAS Operator kann seine Route wählen, diese wird durch den Traffic Manager autorisiert; Korridor: UAS können sich in einem vorgegebenen Korridor bewegen; Fixed Route: Exakte Fluglinien sind vorgegeben [BPM⁺ 18]

Autorisierte Instanzen müssen interoperabel mit der bemannten Luftfahrt durch ANSPs oder NAAs zusammenarbeiten. Zu den Lufträumen zählen zusätzlich NDZ und LDZ, die nur autorisierte UAS betreten dürfen.

A.1.2 Drone Port Reference

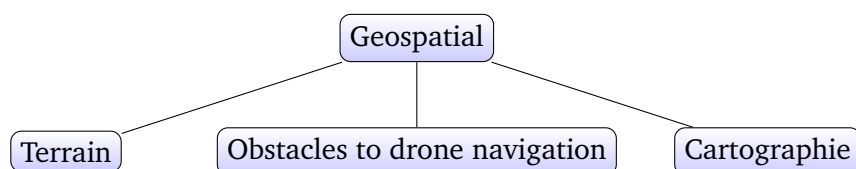
Im Vergleich zur bemannten Luftfahrt, in der nicht zwingend ein ATC notwendig ist, da in der Regel ein Pilot anwesend ist, der in der Lage ist das Flugobjekt sicher zu landen, benötigt der unbemannte Luftverkehr zwingend eine Instanz, die für Starts und Landungen verantwortlich ist. Bisher sind nur wenige Analysen erfolgt, wie viele Drohnenhäfen (engl. Drone Ports) zukünftig benötigt werden. Im Verhältnis zur Aktivität eines gängigen ATC werden bei einem UTM wesentlich mehr Drohnenhäfen notwendig sein, da eine übliche Drohnenmission kürzer ist als ein bemannter Flug. Weiterhin ist die Struktur der Drohnenhäfen abhängig vom Typ der UAS. Elektrische Senkrechtstarter eVTOL benötigen weniger Landfläche als STOL Konfigurationen. Andere Drohnenhafentypen werden für CTOL benötigt. Zudem hängt das Design der Drone Ports von Größe und MTOM der UAS ab. Es werden Elemente benötigt, die Drohnenhäfen und UTM zusammen koordinieren.

A.1.3 NOTAM

Notices to Airmen (NOTAM) sind in der bemannten Luftfahrt eingeführt, um Piloten über außergewöhnliche Umstände zu informieren. Derartige Hinweise können die Flugplanung und die Flugausführung betreffen. Als Analogie wird ein neues System eingeführt, die Notices to Drone Operator (NOTDO). Da bei UAS kein Pilot On-Board anwesend ist, werden die Hinweise an den Drohnen Operator übermittelt. Zusätzlich müssen Informationen bereitgestellt werden, die sowohl die bemannte wie die unbemannte Luftfahrt betreffen, um keine Meldungen zu verlieren. NOTAMs sind ursprünglich eingeführt, um dem Piloten ein verbessertes Situationsbewusstsein zu ermöglichen. Dies ist spätestens dann nicht mehr gegeben, wenn zu viele NOTAMs und NOTDOs den Fokus von der eigentlichen Missionsausführung ablenken.

A.2 Geospatial

Georäumliche Informationen werden in drei Services festgehalten.



A.2.1 Terrain

In einer simplen Variante besitzen Geländedaten zwei Koordinaten - Breitengrad und Längengrad. Normalerweise werden Koordinaten mit einem Set von Attributen vervollständigt. Das Wissen über die Geländeoberfläche hilft bei der Beurteilung der Kalkulation der kürzesten Flugrouten, der Risikobeurteilung oder der Identifizierung von Notfalllandeflächen. Mit einem Digital Surface Model (DSM) wird ein 3D Netz der Oberfläche dargestellt. Räumliche Auflösungen und Detaillierungsgrad können vom Nutzer abhängig sein und je nach Anforderungen seiner Missionen abweichen.

A.2.2 Obstacles to drone navigation

Hindernisse stellen gegenüber einer Geländeoberfläche zwei zusätzliche Anforderungen dar. Einerseits können Hindernisse in ihrer Erscheinung und Position dynamisch sein. Andererseits sind sie nicht zwingend in einer öffentlichen Datenbank dokumentiert. Dies kann beispielsweise ein Vogelschwarm sein, der durch die Flugtrajektorie eines UAS fliegt. Solche Hindernisse stellen eine große Gefahr für den sicheren Betrieb eines UAS dar. Statische Hindernisse wie Gebäude oder Vegetation müssen ebenfalls in einer Datenbank aufgenommen werden. Sie werden zusätzlich zur Geländeoberfläche modelliert. Änderungen der Objekte müssen direkt im Modell eingearbeitet werden. Zusätzlich werden zeitliche Perioden, Bewegungen und weitere individuell Daten von

Hindernissen aufgenommen.

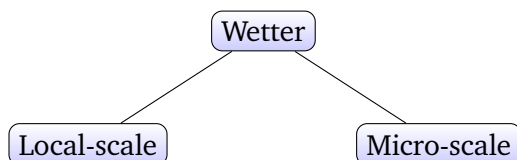
UAS selber können mittels integrierter Hardware Hindernisse oder Abweichungen zur hinterlegten Datenbank detektieren und dementsprechend agieren. Diese Erkennung und Erfassungen dienen und unterstützen einer Risikoanalyse der Flugmissionen.

A.2.3 Cartography

Nahezu alle UAS benutzen digital hinterlegte Karten, um eine Mission zu planen und auszuführen. Es kann dabei auf einen Online Server oder auf spezielle Produkte und Dienste, die Ortho-Abbildungen bereitstellen, zugegriffen werden. Bei der Kartographie ist es wesentlich, dass die Daten zuverlässig sind und mit welcher Latenz Informationen abgerufen werden können. Visualisierte Karten bilden das Human-Machine Interface (HMI) und können durch diverse Informationen wie Wetterdaten, Flugdaten oder aeronautische Informationen ergänzt werden. Die Anzeigen sind missionspezifisch und sicherheitskritisch. Eine Möglichkeit, um neue Daten aufzunehmen, wird in Kapitel A.6.2 beschrieben. Erfasste Karten sollten in einer standardisierten und zertifizierten Form aufbereitet werden.

A.3 Wetter

Meteorologische Informationen werden in zwei Services unterteilt.



A.3.1 Local-scale Weather

Lokal-skalierte Wetterdienste beziehen sich auf eine räumliche Auflösung der Größenordnung 10^3 m. Es werden neben dem aktuell Stand (engl. Nowcast) die Vorhersagen (engl. Forecast) zu aktuellen Wetterbedingungen zur Verfügung gestellt. Atmosphärische Daten sind beispielsweise Druck, Temperatur, Sicht, Risiko der Vereisung, Wind und weitere Größen. Neben dem aktuellen Nowcast werden in diesem Service aktuelle Wetterbedingungen mit den vorherigen Vorhersagen verglichen, um zu prüfen, ob ein erwarteter Wert eingetroffen ist oder nicht. Ist-Werte dürfen einen Wertebereich nicht verlassen, da ansonsten aufgrund der Ungenauigkeit der Wettervorhersage Missionen nicht sicher ausgeführt werden können. In diesem Fall wird eine Warnung oder ein Alarm an die UAS Operatoren herausgegeben. Abhängig von der Mission kann auf ältere gespeicherte Wetterdaten zugegriffen werden, um im Post-Flight abgeschlossene Missionen zu evaluieren und zu untersuchen. Der lokale Wetterservice wird genutzt, um Missionen, Flüge und Verkehr zu planen. Als Eingang erhält der Service Daten aus globalen Wetterdiensten, die periodisch ihre Angaben aktualisieren.

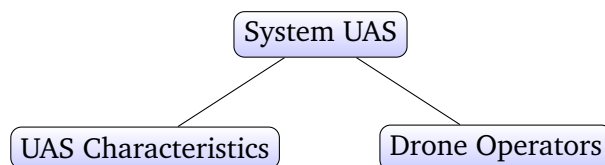
Zusätzlich können während des Betriebs Live-Daten von UAS an den Service gesendet werden, um so in Echtzeit die Bedingungen zu observieren. Lokal-skalierte Wetterberechnungen werden für die Ermittlungen des mikro-skaliertem Wetter benutzt.

A.3.2 Micro-scale Weather

Das mikro-skalierte Wetter orientiert sich an der Größenordnung von 10^2 m. Es wird ebenfalls ein Forecast und Nowcast angeboten. Vorhersagen finden offline statt und werden numerisch berechnet. Kalkulationen können mit einer Large Eddy Simulation durchgeführt werden. Insbesondere die Interaktion mit urbanen Konstrukten wie Hochhäusern bedeutet für die Simulationen eine große Herausforderung. Hochauflösende und genaue mikro-skalierte Wetterdienste können als Commercial Off-The-Shelf (COTS) in das System integriert werden.

A.4 System UAS

Das System UAS wird in zwei Services unterteilt.



A.4.1 UAS Characteristics

Alle Aerial Vehicle (AV) müssen in einer Datenbank registriert sein. Neben einer AV Identification (AV ID) muss das Modell, der Typ (CTOL, STOL oder VTOL), die MTOM, die Vortex Kategorie, die Wetteranfälligkeit und das UAS Zertifikat hinterlegt sein. Einerseits dienen die Information der Missionsplanung und Flugausführung. Andererseits kann anhand dieser Information festgestellt werden wo das UAS landen und starten darf und kann. Zudem muss Kenntnis über die Kommunikations-, Navigations- und Überwachungsmöglichkeiten (CNS) des UAS vorliegen. Eine weitere wichtige Eigenschaft der UAS ist der Automatisierungsgrad, der bereits in Kapitel 2.3 beschrieben ist. Eine erhöhte Automatisierung ermöglicht einen dichteren Verkehr. Dazu zählt ebenfalls ein automatisches Start- und Landesystem (engl. Automatic Take-Off and Landing, ATOL). Flugausführungen laufen mit erhöhtem Automatisierungsgrad deterministischer ab. Missionen sind daher abhängig von verschiedenen Limitationen des AV.

Weiterhin hat das UAS als Gesamtes inklusive Payload Einfluss auf die Sicherheit im Allgemeinen und die Privatsphäre. Dies ist der Fall wenn das UAS Menschen oder giftige Stoffe transportiert. Ebenso können verschiedene Kameras und Kommunikationssysteme genutzt werden, um die Privatsphäre anderer Privatpersonen oder Gesellschaften auszuspähen. Einzig die Ground Control Station

(GCS) ist befugt, die Flugtrajektorie zu bestimmen.

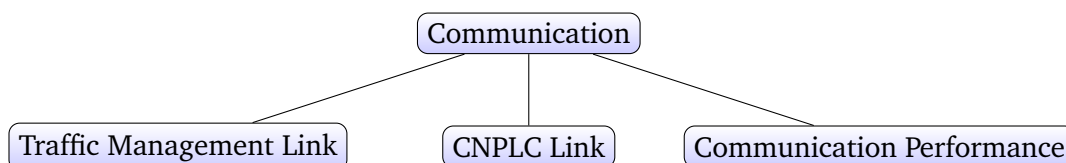
Schließlich geht in den Data-Set der aktuelle Wartungszustand der UAS ein. Über die Verfassung von Komponenten eines UAS kann auf die Flugtüchtigkeit und verfügbare Leistung des UAS geschlossen werden.

A.4.2 Drone Operators

So wie die UAS als Objekt, müssen alle Drohnen Operatoren erfasst werden. Mit einem Operator ist nicht zwingend ein Pilot-in-Command (PIC) gemeint. In einzelnen Fällen kann der Operator der PIC eines UAS sein. Generell wird davon ausgegangen, dass ein Operator mehrere UAS bedient. Eine Flotte wird daher von einem oder mehreren PIC gesteuert. Abhängig von der Automatisierung stellt der PIC weniger einen aktiven Piloten dar, sondern vielmehr einen Supervisor, der nur einer überwachenden Aufgabe nachgeht. Deshalb lässt sich der Service in zwei Teile aufteilen: einen für Operatoren Informationen und einen für Piloten Informationen. Operatoren sind erst durch ein Air Operator Certificate (AOC) befugt, das UTM zu nutzen. Informationen dieses Service werden nur an Personen oder andere Services weitergeben, die eine Anfrage stellen und die Informationen für die Durchführung einer weiteren Mission wissen müssen. Letztlich muss der Operator angeben, welche Zwecke seine Missionen verfolgen.

A.5 Kommunikation

Kommunikation wird in drei Services unterteilt.



A.5.1 Traffic Management Link

Um in der bemannten Luftfahrt Informationen zwischen PIC und ATC Controller Officers (ATCO) herzustellen, wird meist eine standardisierte Very High Frequencies (VHF) Radio Kommunikation verwendet. UAS dagegen benötigen keinen Sprachaustausch, da der PIC sich nicht On-Board befindet. Mit der Einführung eines UTM ergeben sich viele weitere Schnittstellen mit den einzelnen Kommunikationsinstanzen.

Verbindung	Logischer Pfad	Sprachübertragung	Datenaustausch
GCS-UAV	A/G	-	CNPLC
GCS-UTM	G/G	Internet	Internet
ATC-UAV	A/G	Standard VHF	Standard ATS datalink
UAV-GCS	A/G	ATC Sprachrelais über CNPLC	ATS Datarelais über CNPLC
ATC-GCS	G/G	Internet	Internet

Tabelle A.1.: Übersicht der Verbindungsschnittstellen nach [NBJ⁺18]

Übertragungen am Boden (engl. Ground/Ground, G/G) können durch Internetzugänge realisiert werden. Zu diesem Zweck können bisher standardisierte Virtual Private Network (VPN) Zugänge geschaffen werden, bei denen ein VPN-Tunnel aufgebaut wird und Daten vor äußeren Manipulationen geschützt übertragen werden können. Über IP-basierte Sprachübertragungen können PIC ATC Controller Officer (PIC-ATCO) Kommunikationen umgesetzt werden. Für Kommunikationsschnittstellen mit einem UAS sind Hardware-Anforderungen an das AV gestellt, die in den Minimum Operational Performance Standards (MOPS) der RTCA DO-362 festgehalten sind. Leistungsanalysen der Command and Control (C2) werden aufgrund von Verfügbarkeit, Kontinuität, Transaktionszeit und Transaktionsablauf und -integration bestimmt.

A.5.2 CNPLC Link

GCS und UAV kommunizieren über einen Command and Non-Payload Communication (CNPLC) Link. Bisherige kabellose Verbindungen für UAS Operationen basieren zumeist auf eine RLOS Konzept. Weitere Lösungen für BRLOS sind zwingend erforderlich. Zukünftige CNPLC Services sollen alle sicherheitsrelevanten Informationen bereitstellen. Ein gleiches Situationsbewusstsein der UAS unabhängig vom ACL soll durch eine präzise Synchronisation gewährleistet werden. Durch den CNPLC Link wird das Kontingenzmanagement an mehreren Stellen unterstützt.

- Contingency Planning Information aus CNS Leistungsparametern (Kapitel A.8.3)
- Contingency Management durch Rückmeldung (Kapitel A.8.3)
- Traffic Surveillance am Boden (Kapitel A.7.1)
- UAV Positionierung nach einem Loss-of-GNSS (LoG)
- Atmosphärische Daten zum Abgleich von Vorhersagen (Kapitel A.3.2)

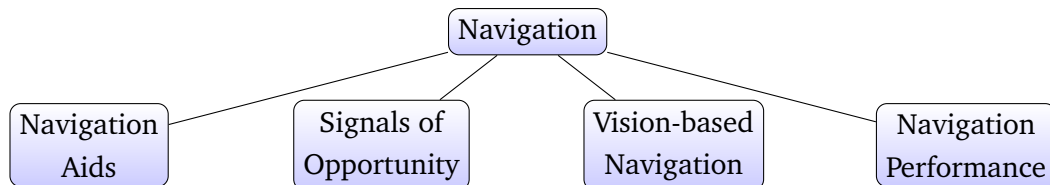
A.5.3 Communication Performance

In der bereits angesprochenen RTCA DO-362 werden Required Link Performance (RLP) beschrieben. Ein RLP beschreibt die Austauschbeziehung von einer CNPLC Link Redundanz und einer Automatisierung. Die in den RLP beschriebenen CNPLC Link Performances beschreiben die Services während der Flugplanung und dessen Überwachung während der Ausführung, um einen Loss-of-Link (LoL) zu vermeiden und kontrollieren. Ein LoL geht mit einem Loss-of-Telemetry (LoT) einher, bei dem die

Übertragung unterbrochen ist, einem Loss-of Telecommand, bei dem der PIC keine Steuerungsmöglichkeiten mehr auf das AV hat und dem Verlust von allen Zugängen zu Informationen betreffend Kontingenzmanagement, die von dem AV generiert werden. Im Falle von Untersuchungen und Ermittlungen werden die Kommunikationsereignisse dokumentiert und auf Datenträgern hinterlegt.

A.6 Navigation

Navigation wird in vier Services unterteilt.



A.6.1 Navigation aids

Für kontinentale Missionen kann die Ausrüstung für die Navigation von den funkbasierten Standardausrüstungen der bemannten Luftfahrt übernommen werden. Falls keine terrestrische Radionavigation möglich ist, kann auf Trägheitsnavigationssysteme zurückgegriffen werden. In Bezug zu einem UAS stellt dies besondere Anforderungen dar.

- Bisherige Lösungen für Inertial Navigation Systems (INS) sind aktuell nicht auf das Size, Weight and Power (SWAP) Level von Drohnen ausgelegt. Auf dem Level der kleinen Drohnen sind aktuell keine Prototypen vorhanden.
- Abhängig von der Mission kann einfache standardisierte Navigation nicht ausreichen, um den Anforderungen der Mission gerecht zu werden. In kritischen Fällen mit beeinflussenden Störungen können Probleme mit der CNPLC-Antenne auftreten, die zu einem LoL führen können.
- Aufgrund der kleineren Skalen von SWAP können Windturbulenzen in Trägheitsnavigation negative Auswirkungen haben.
- Die Frequenzvielfalt der verschiedenen Signale bedeutet einen erhöhten Anspruch an die Hardware und die Antennen-SWAP.
- Üblicherweise wird mit Radionavigation und INS eine reine 2D Navigation ermöglicht. Höhenmessungen werden weiterhin mit einem Barometer durchgeführt.

A.6.2 Singals of opportunity

Moderne Signalprozess-Technologien erlauben die Nutzung von großräumig verfügbaren Radio Frequency (RF) Singals-of-Opportunity (SoO). Zu SoO-basierten Zugängen zählen folgende Ausführungen.

- **Mobile Netzwerke**

Im Alltag gebräuchliche Netzwerke wie das GSM/3G/4G und zukünftig 5G können für Navigation im U-Space genutzt werden. Über ein Subscriber Identity Module (SIM) kann ein Datenaustausch zwischen Netzwerk und AV stattfinden.

- **Satellitenkommunikation**

In Zukunft können Endgeräte auf das IRIDIUM Netzwerk zugreifen. Ab 2020 kann weltweit auf bis zu 66 Satelliten zugegriffen werden.

- **Lokale Funkfeuer**

Ein lokales Funkfeuer (engl. Beacon) kann genutzt werden, um flexible ad-hoc Verbindungen herzustellen. Je nach Konfiguration kann ein Beacon ein Übertragungsglied einer Vehicle to Vehicle (V2V) oder einer Vehicle to Infrastructure (V2I) verkörpern.

Die wesentliche Idee hinter SoO ist das Erlangen und Erstellen von diversen Kombinationen bekannter und unbekannter Eigenschaften eines AV-Zustandes. Parameter werden in einem mathematischen Model determiniert.

A.6.3 Vision-based Navigation

Weiterhin können unmittelbare Umgebungserfassungen genutzt werden, um vision-based zu navigieren. Hierfür werden elektro-optische (EO) Sensoren genutzt. Damit wird in Echtzeit aus einem Videoinput des AV navigiert. Der große Nutzen eines derartigen Prinzips ist die Unabhängigkeit von anderen Diensten und die dadurch verbesserte Performance. Zusätzlich sind derartige Lösungen SWAP-kompatibel.

- **Optischer Fluss**

Anhand von relativen Bewegungen zwischen stationären Objekten in der Umgebung und dem UAV wird auf eine horizontale Geschwindigkeitskomponenten geschlossen.

- **Semi-direct Visual Odometry (SVO)**

Visuelle Daten werden mit einer odometrischen Technik ausgewertet. Neben einem vollständigen Geschwindigkeitsvektor kann zusätzlich die Höhe ermittelt werden.

- **Bildregistrierung**

Aufgenommene Bilder eines AV werden mit einer auf einer Datenbank hinterlegten orthographischen Abbildung der Umgebung abgeglichen. Somit werden 2D Position und Ausrichtung bestimmt.

- **Horizontale Ausrichtung**

Ein nach vorne gerichteter EO-Sensor unterstützt Detect and Avoid (DAA) Funktion, um die Flughöhe und Flugrichtung des UAVs zu erhalten.

- **Astronomische Verfolgung**

Nach oben gerichtete EO-Sensoren vermitteln ein Bild von Himmelskörpern wie der Sonne, vom Mond und den Sternen. Anhand der Anordnung der Himmelskörper wird auf die dreidimensionale Position des UAVS geschlossen.

A.6.4 Navigation Performance

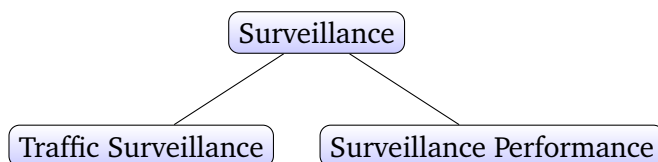
In Anbetracht der sich ständig erhöhenden heterogenen Masse an UAS muss ein flexibler Ansatz gefunden werden, um alle dynamischen Vorgänge der UAS Navigation in eine Performance-Analyse zu integrieren. Die bisher dafür erstellte Sichtweise wird *all-source assured navigation* genannt. Neben der Betrachtung einzelner Sensoren, werden die Funktionen aus einer Fusion mehrerer Navigationsquelle betrachtet. Im Vergleich zur bemannten Luftfahrt werden wesentlich mehr Konstellationen von Sensorik und AV erwartet.

Zusätzlich zur eigentlichen Funktion der Sensorik muss die Integration in das AV berücksichtigt werden. Aufgrund der deutlich kleineren Skalierung von SWAP bei UAS, ist die Integration von zusätzlichen Bauteilen ein wesentlicher Faktor.

Eine Überwachung der Navigationsdienste ist für die Ausführung einer Operation genauso wichtig wie für die Missionsplanung oder Änderung bei dynamischen Trajektorien. Diese Überwachung beobachtet Genauigkeit, Verfügbarkeit, Integrität und Kontinuität des Service. Eine Anleitung ist im *Performance-based Navigation (PBN) Manual* von der ICAO, Doc-9613 festgehalten [Int08]. Für den Fall des LoG sind die drei wichtigsten kritischen Faktoren das Feststellen von inakkurater Navigation, die Nichtverfügbarkeit von Navigationsintegrität in das AV und der Ausfall von wesentlichen Ausrüstungen.

A.7 Surveillance

Surveillance teilt sich in zwei Services auf.



A.7.1 Traffic Surveillance

Die Beobachtung des Verkehrs stellt aus sicherheitskritischer Sicht den wichtigsten Faktor noch vor Wetter- und Umgebungsbeobachtungen dar. Direkten Einfluss übt die Verkehrsbeobachtung auf das DAA aus. Innerhalb einer bestimmten Verkehrsumgebung müssen die gestellten Anforderungen an den Verkehr erfüllt werden. Mittels der Observation wird der Verkehr kontrolliert und koordiniert.

Ungeklärt ist bisher die Funktionalität von bildbasierenden Überwachungen. Erste Erkenntnisse weisen darauf hin, dass der Mensch in der Rolle eines PIC oder das Traffic Alert and Collision Avoidance System (TCAS) Probleme haben, aus Videomaterial ein UAV frühzeitig zu detektieren. Aus diesem Grund muss ein Ansatz gefunden werden, welche Sensoren oder Kombination

von Sensoren notwendig sind, um einen sicheren Betrieb durch ein funktionierendes DAA zu sichern.

Neben dem betrachteten Flugbetrieb von UAV wird ein Bewusstsein über die bemannte Luftfahrt notwendig sein. Bisherige Ansätze für eine kooperative Überwachung vom unbemannten und bemannten Luftverkehr sind identifiziert.

- Alle AVs, die mit elektronischen Erkennungsmitteln ausgestattet sind, nutzen Boden- und Satellitenkommunikation
- Aus eigenen Telemetriem abgeleitete Überwachungsdaten werden von der GCS an den Bodenüberwachungsdienst zugestellt
- Multilateration basieren auf einer vernetzten CNPLC Lösung, wie dem mobilen 4G Netz

Konkrete Lösungen für ein einheitliches Konzept der Überwachung sind bisher nicht entschieden. Analog zur Entwicklung des *all-source assured navigation* aus Kapitel A.6.4 ist ein *all-source assured surveillance* sehr wahrscheinlich.

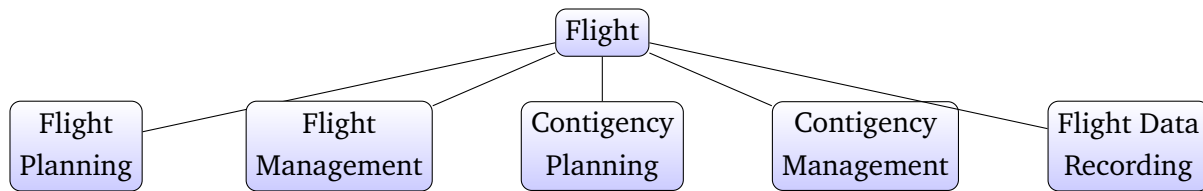
Bislang wird untersucht, ob ein Überwachungssystem durch das automatic dependent surveillance-broadcast (ADS-B) sich auf ein UTM übertragen lässt. Das Forschungsinstitut MITRE hat festgestellt, dass ein ADS-B alleine nicht ausreichen wird, um die hohe Anfrage und die hohe Anzahl von Nutzern in einem UTM decken zu können. Insbesondere ist in urbanen Gebieten, in denen vermehrt UAV zu erwarten sind, bereits jetzt durch die bemannte Luftfahrt eine erhöhte Auslastung festzustellen. Eine Option, um neue Kapazitäten zu generieren, liegt in der Unterstützung durch 4G oder 5G in Zukunft [War18].

A.7.2 Surveillance Performance

Aufgrund der erhöhten Heterogenität im U-Space ist das angesprochene *all-source assured surveillance* der Serversysteme, um den UAS Zugang mit allen nötigen Informationen zu unterstützen. Die Funktionen des Systems sind unter anderem die Verknüpfung von beobachteten Informationen, Integritätsüberwachung und Warnungen von bestimmten Sensoren zu jeder Zeit. Durch ein *surveillance performance monitoring and prediction* werden zwei wesentliche Funktionen abgedeckt. Einerseits assistieren die Funktionen des Subsystems die Flugplanung und die individuellen DAA eines jeden einzelnen UAV aus Sicht der Anforderungen der Luftverkehrsüberwachung. Andererseits unterstützt das Subsystem die Flurplanung und das DAA aus Sicht der Anforderungen der Bodenverkehrsüberwachung. Dafür wird ein systematisches Grundgerüst in Form eines Frameworks benötigt. Aus der bemannten Luftfahrt ist bereits das *Doc-9869 – Performance-based Communciation and Surveillance* (PBCS) der ICAO bekannt [War17]. Betrachtete Leistungsparameter sind Transitzeit, Genauigkeit, Integrität, Verfügbarkeit und Kontinuität des Service. Analog zur Navigation treten bei der Überwachung drei wesentliche Faktoren zur Erfüllung der Funktionalität auf: das Feststellen von inakkurater Überwachung, die Nichtverfügbarkeit von Überwachungsintegrität in das AV und der Ausfall von wesentlichen Ausrüstungen.

A.8 Flug

Flight wird in fünf Services unterteilt.



A.8.1 Flight Planning

Das Überfliegen von Wegpunkten einer 2D-basierten Karte bildet eine Möglichkeit der UAV Trajektorien ab. Zusätzlich werden Höhe und Geschwindigkeit benötigt, um eine Flugplanung in einer 4D Umgebung zu ermöglichen. Abhängig von der Missiongestalt können Muster oder Vorlagen abgeflogen werden. Eine Auffassung der Flugmuster ist das *leg*, das in der bemannten Luftfahrt für eine Random Navigation (RNAV) Prozedur weit verbreitet ist. Bei diesem Verfahren werden einfach geometrische Elemente wie Geraden, Kurven und Bögen benutzt.

Ein Flugplan wird entweder manuell von einem Operator erstellt oder automatisch für eine bestimmte Mission generiert. Die GCS durchführt ihre Flugplanung in der Regel ohne Interaktion mit der UAS Verkehrsplanung. Aktuelle Standards lassen eine Summe von detaillierten Informationen zum Flugplan aus. Daher entsteht eine Unsicherheit. Um dennoch eine gewisse Sicherheit während der Operation zu gewähren, wird ein dementsprechend größer Luftraum benötigt. Eine 4D Trajektorie eines AV ist somit ein Kompromiss aus Sicherheitsaspekten und Luftraumausnutzung.

Flugplanungen nutzen Informationen aus den aeronautischen und den geographischen Services, die bereits in Kapitel A.1 und Kapitel A.2 beschrieben sind. Falls während der Mission eine Umlanung der Trajektorie notwendig ist, muss die Flugplanung mit dem Service der Flugausführung, der Verkehrsabwicklung und der Missionsplanung interagieren.

A.8.2 Flight Management

Die Flugausführung wird in Kombination durch den On-Board Autopilot und die GCS durchgeführt. Dabei bestimmt das Flugmanagementsystem, welche Trajektorie geflogen wird und steuert die Flugführung und Kontrollfunktionen. Flugmanagementsysteme werden generell von einem PIC, einem autonomen System oder einer Kombination beider ausgeführt. Lösungen für das UAS Flugmanagement sind einfacher zu gestalten. Dies kann beispielsweise in einer Notfallsituation bedeuten, dass das AV bei einem LoL oder LoG von der aktuellen Position zurück zu seinem Startdrohnenhafen oder einer Ausweichgelegenheit fliegt. Bei kritischeren Notfällen, dazu zählen Loss-of-Engine (LoE) oder einem Loss-of-Connection (LoC), übernimmt das Emergency Flight Termination (EFT) System die Kontrolle. Ein mögliches Szenario bei LoE oder LoC ist der langsame Abstieg durch einen

Fallschirm, der nach wie vor eine unsichere und kostenaufwändige Lösung ist.

Absehbare Flugmanagementsysteme sind am Boden und in der Luft in zwei Segmente unterteilt. Das Subsystem am Boden liefert Informationen der Flugplanung und welche UAV aktuell in der Ausführungsphase überwacht werden müssen. Es analysiert kontinuierlich die verfügbaren telemetrischen Flugdaten wie AV Status, Avionik, CNS Funktionen und Antriebszustand. Vom Boden gelieferte Informationen werden vom On-Board Flugmanagement genutzt, um präzise die aktuell durchgeführte Mission und Flugausführung zu überwachen und mit dem Soll zu vergleichen. Zeitgleich werden potentielle Notfallmaßnahmen für die aktuelle Situation berechnet und zur Sicherheit bereit gehalten. Es wird durchgehend der benutzte Luftraum überwacht, damit das AV nicht in eine LDZ oder NDZ hineinfliegt. Beide Segmente müssen synchron und interoperabel arbeiten, sodass das Verhalten der UAV stets vorhersagbar ist.

A.8.3 Contingency Planning

Ein Notfallplan beschreibt explizit in Abhängigkeit der Anfälligkeit des AV die vorhersehbaren Notfälle entlang einer bestimmten Trajektorie. In Summe existieren fünf verschiedene sicherheitskritische Notfälle.

- LoS
- LoG
- LoL
- LoE
- LoC

Probleme mit der Verbindung (LoL) und der Separation (LoS) sind für die Luftfahrt von wesentlicher Bedeutung. Beratende Richtlinien sind mit den MOPS DO 362 und DO 365 veröffentlicht. LoG ist bisher nicht intensiv in der Luftfahrt berücksichtigt. Aufgrund der Abhängigkeit der UAV von GNSS ist ein LoG ein weiterer sicherheitskritischer Faktor. LoE-Ereignisse weisen wegen der deutlich kleineren Skalierung von SWAP gegenüber der bemannten Luftfahrt ein neues Untersuchungsfeld dar. Soweit ist in Folge von LoE der kleineren MTOM ein Fallschirm eine probate Lösung.

Notfallplanungen müssen zwischen mehreren verfügbaren Alternativen evaluieren und eine geeignete Lösung für die verschiedenen Szenarien identifizieren. Alle Daten, die das Notfallmanagement parametrisieren, müssen im Notfallplan enthalten sein. Eigenschaften des Notfallmanagement können aufgrund der unterschiedlichen UAV stark voneinander abweichen.

A.8.4 Contingency Management

Das Notfallmanagement assistiert dem PIC. Es informiert über mögliche In-Flight Notfälle und kann im Eintrittsfall die Kontrolle über das AV übernehmen. Dabei sollte jedes Notfallmanagement vier wesentliche Punkte einbeziehen.

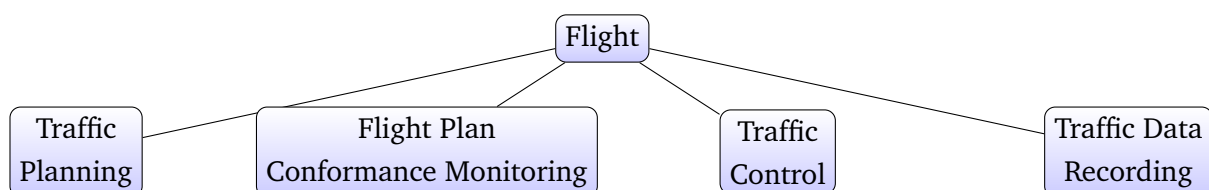
- Während des Fluges werden routinemäßig alle möglichen Notfälle simuliert und in eine Art use case sortiert. Zwingend notwendig ist die Überwachung der Drohne aller kritischen Systeme, die Einfluss auf die genannten LoX haben können. Zusätzlich überwacht das AV die Leistung des Flight Control System (FCS) und dem umgebenden Verkehr.
- Sobald ein Notfall eintritt, muss der kritische Zustand beurteilt werden. Anhand dessen wird eine Entscheidung getroffen, ob der Flug wie bisher geplant so fortgeführt werden kann. Mögliche Entscheidungen sind die UAV Recovery, Notfalllandung oder Flugterminierung. Es wird bei wenig kritischeren Ereignissen nicht zwingend erforderlich sein, den Flug abubrechen. Dafür müssen der Situation angemessene Notfallmanagement-Verfahren bereitgestellt werden.
- Ein Notfallereignis muss umgehend an alle weiteren UTM-Teilnehmer gemeldet werden. Dazu zählen die RPS, ATC oder U-Space Services in der Umgebung des AV.
- Ebenfalls wird die vorhergesagte Notfallroute den umliegenden Verkehrsteilnehmern geteilt.

A.8.5 Flight Data Recording

In der bemannten Luftfahrt werden Flugdaten durch ein Aufnahmegerät aufgezeichnet und auf Datenträgern hinterlegt. Aufgenommene Informationen können im Anschluss an den Flug von einer Untersuchungsstelle analysiert werden, um gegebenenfalls Ursachen von Unfällen oder unvorhergesehenen Ereignissen zu klären. Im U-Space wird ein gleicher Ansatz verfolgt. Erfassungen von Flugdaten erleichtert die Analyse von Missionen während der Flugaufarbeitung und generiert Erfahrung und Wissen im Umgang mit UAV im U-Space. Gespeicherte Daten können je nach UAV-Operation, UAS Typ, Luftraum und Mission stark voneinander abweichen. Eine Aufnahme wird durch den Drohnen-Operator autorisiert und wird durch ein zertifiziertes Flight Data Recording System durchgeführt. Neben den angesprochenen Vorteilen für die Analyse werden die Daten genutzt, um Konditionen und Bedingungen von Versicherungen auszuhandeln.

A.9 Verkehr

Traffic wird in vier Services unterteilt.



A.9.1 Traffic Planning

Der UAS Traffic Planning Service ist für die Zuteilung im Luftraum verantwortlich. Das Ziel ist die Integration von allen UAV in den Luftraum unter gleichen Bedingungen und gleichen Behandlungen. Es gilt eine Balance zwischen der Nachfrage von Operationen und der Kapazität an Luftraum-Ressourcen zu finden. Diese Services müssen die Flugplanung unterstützen, indem sie den Drohnen Operatoren einen Zugang ermöglichen, der die UAV ohne Priorisierung fair behandelt.

Falls es zu einer Verzögerung oder einem Ausfall einer Mission kommt, muss der Drohnen Operator über eine Neuansetzung oder Verschiebung seiner Mission informiert werden. Bevor eine Mission gestartet werden kann, muss sie von der U-Space Flugplanung genehmigt sein. Dieser Schritt wird als *flight approval* bezeichnet. Wenn der Luftraum von mehreren autorisierten Instanzen kontrolliert wird, so muss jede Instanz erst ihre Genehmigung erteilen, bevor der Flug gestartet werden kann. Ein zentraler Service für die Aktivitäten eines UTM wird *Orchestrator* genannt. Alle Regularien und Vorschriften laufen über den Orchestrator ab.

Für eine Umleitung - in diesem Sinne eine geplante Flugroutenänderung - müssen mehrere Aspekte des AV in Betracht gezogen werden. Der Typ der Drohne und seine Leistungsmöglichkeiten aufgrund seiner Konfiguration sowie seine Lufttauglichkeit, Lizenzen und Versicherungskonditionen haben großen Einfluss auf die Flugplanung und daher ebenso auf das Rerouting falls nötig. Ein AV darf zu keiner Zeit sich in einem Luftraum befinden, für den es keine Berechtigung erhalten hat. Damit das UTM sein Situationsbewusstsein aufrecht halten kann, müssen Flugpläne durchgehen aktualisiert werden. Um die Kontrolle über die AV Zuteilung im Luftraum zu vereinfachen, werden Fähigkeitsstufen eingeführt. Durch sie wird beurteilt, ob ein AV generell die Hardware und Software Voraussetzungen erfüllt, um in einem bestimmten Luftraum zu operieren.

A.9.2 Flight Plan Conformance Monitoring

Im U-Space wird der Flugplan in Form eines Vertrages zwischen UTM Services und Drohnen Operator abgeschlossen. Dies bedeutet, dass der Operator ausschließlich innerhalb eines mit Unsicherheiten behafteten Korridors sein AV operieren darf. In speziellen Einsatzumgebungen ist die Vorgabe eines Flugplanes missionsbedingt nicht möglich oder nicht zielführend. Eine betriebliche Unsicherheit eines AV hängt von mehreren Faktoren ab.

- Navigationsfähigkeit und Genauigkeit der Positionsbestimmung
- Atmosphärische und meteorologische Bedingungen

Durch den flight plan conformance monitoring Service wird überprüft, wie effektiv die geplante Trajektorie abgeflogen wird.

A.9.3 Traffic Control

Mit dem Traffic Control Service soll der sichere, effiziente und angemessene Zugang zum Drohnenverkehr im U-Space gewährleistet werden. Während der Ausführung muss jedes AV ein festgelegtes Separationsminimum, das in diesem Zusammenhang einen Mindestabstand bedeutet, gegenüber anderen Verkehrsteilnehmern einhalten. Bereits in Kapitel A.8.3 ist der Fall des LoS erwähnt. Dieser Fall tritt ein, wenn ein vordefiniertes Abstandsminimum unterschritten wird und sich zwei oder mehrere AVs so weit annähern, dass ihr sicherer Betrieb nicht mehr gegeben ist. Konflikte dieser Art können vermehrt bei erhöhtem Verkehrsaufkommen auftreten. Derartige Ereignisse können am Boden und im Luftraum eintreten. Deshalb verfolgt der U-Space einen hierarchischen Ansatz, um AV Staffellungen zu managen. Auf längere Entfernung wird eine Separationszuteilung verwendet. Auf kürzeren Entfernungen regelt eine DAA die Kollisionsvermeidung (engl. collision avoidance, CA). Ein Beispiel einer üblichen und bekannten Konfliktsituation sind die *merging conflicts*.

Merging Conflicts treten dann auf, wenn zwei AVs auf der gleichen Trajektorie das gleiche Ziel ansteuern und keine ausreichende zeitliche Staffelung haben. Das nachfolgende AV operiert zu dicht am vorderen AV - catching-up conflict. Ereignisse wie diese treten vermehrt bei erhöhtem Verkehrsaufkommen auf. Die Gefahr eines Domino-Effektes entsteht sobald die Auflösung dieses Problems einen neuen Konflikt bewirkt, analog zum Stau im Berufsverkehr [NBJ⁺ 18].

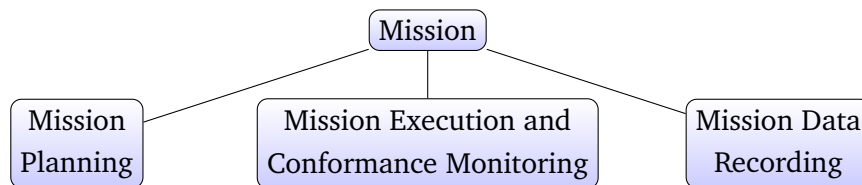
Sobald ein Konflikt eingehendes Ereignis detektiert ist, muss dieses Ereignis schnellstmöglich aufgelöst werden. Dies verlangt ein ausgewähltes Vorgehen, welches in einem Rahmenwerk festgehalten wird. Durch die Koordinierung von mindestens zwei AVs wird ein Maß an Interoperabilität zwingend erforderlich sein. In diesem Punkt inbegriffen ist die Schnittstelle aus der Verkehrskontrolle und dem Flugmanagementvermögen.

A.9.4 Traffic Data Recording

Analog zu Flugdaten (A.8.5) werden Verkehrsdaten dokumentiert, um gegebenenfalls im Anschluss eine Untersuchung durchführen zu können. Getroffene Entscheidungen vom UTM werden analysiert und bewertet. Anhand von gespeicherten Daten aus realen Operationen können Modelle zur Optimierung und Simulationen entwickelt werden.

A.10 Mission

Mission wird in drei Services unterteilt.



A.10.1 Mission Planning

Die Missionsplanung wird von der GCS unter Berücksichtigung der Kapazitäten in der Flugplanung durchgeführt. Bei der Koordinierung von Missionen werden die Eigenschaften des UAV und der PL berücksichtigt. Eine geplante Mission inkludiert einen Flugplan und deren speziellen Aufgaben, die von der Missionsausführung On-Board und am Boden getätigt werden sollen. Die Zusammenarbeit mit der Flugplanung wird insbesondere dann wichtig, wenn Änderungen an der Mission vorgenommen werden und eventuell die Trajektorie korrigiert werden muss.

Missionsspezifische Details werden an den U-Space weitergeben, sofern der U-Space diese Informationen benötigt, um weiterhin einen sicheren Betrieb zu gewährleisten. Dazu zählen die Absicht der Mission sowie die PL. Anhand dessen kann beurteilt werden, ob eine Mission in einem bestimmten Zeitraum eine Freigabe erhält oder nicht.

A.10.2 Mission Execution and Conformance Monitoring

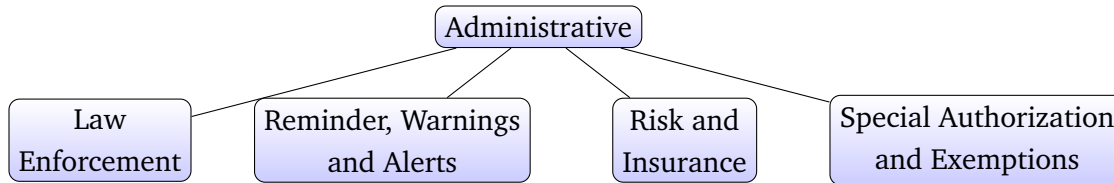
GCS und der Autopilot führen gemeinsam die Mission aus. Funktionen der Missionsausführung sind in ein Boden- und ein Luft-Segment unterteilt. Beide Segmente sind eng miteinander verknüpft und tauschen Informationen zum Missionsplan regelmäßig aus. Der Prozess der Konformitätsüberwachung besteht darin, die aktuelle Mission zu analysieren und mit dem ursprünglich geplanten Ablauf zu vergleichen. Änderungen am Flugplan oder an missionsrelevanten Festlegungen werden durch den Monitor registriert und dokumentiert. Wichtige Veränderungen und Meilensteine werden an den U-Space weitergegeben.

A.10.3 Mission Data Recording

Daten, die missionsrelevante Eigenschaften besitzen, werden ähnlich wie Flugdaten in Kapitel A.8.5 und Verkehrsdaten in Kapitel A.9.4 vom Drohnen Operator aufgenommen und gespeichert. Im Vergleich zu Flug- und Verkehrsdaten werden keine In-Flight Parameter dokumentiert, sondern vielmehr spezifische Daten zur Mission. Nicht zuletzt wegen verschärften Anforderungen an die Datenaufnahme ist die Menge der Daten auf ein Minimum zu beschränken. Alle Informationen werden von einem Mission Data Recording System prozessiert und archiviert. Alle Aufnahmen können im Schadensfall für Verhandlungen mit den Versicherungen genutzt werden.

A.11 Administrative

Administrative wird in vier Services unterteilt.



A.11.1 Law Enforcement

Die U-Space Autorität muss ein Verfahren durchsetzen, durch das Verstöße der festgelegten Gesetze prozessiert werden. Alle Gesetzesentwürfe und Regularien werden digitalisiert und mit den aufgenommenen und gespeicherten Daten aus den Kapiteln A.8.5, A.9.4 und A.10.3 verglichen und anschließend beurteilt. Historische Aufnahmen von Daten werden in einem Data Management System festgehalten. Neben den operativen Daten werden zusätzlich ein Drohnen Register, ein Drohnen-Piloten Register und ein Drohnen-Operator Register erstellt, um so operative Daten mit verantwortlichem Personal zu verknüpfen.

A.11.2 Reminder, Warnings and Alerts

Üblicherweise werden Warnungen vermerkt, wenn signifikante Änderungen auf ein System einwirken. Speziell in der Luftfahrt charakterisieren sich Warnungen durch unerwartete, störende und einflussreiche Wirkungen aus, die unmittelbar eine Gegenaktion erfordern. Operative Alarmwarnungen werden zwischen dem Notfallmanagement, der Flugüberwachung und der Separationszuweisung ausgetauscht. Durch eine feste Zuweisung entsteht Eindeutigkeit über den Adressaten von Warnungen. Aeronautische, geographische und meteorologische Warnungen werden dabei nicht berücksichtigt. Diese können vom Verkehrsmanagement übernommen werden, da dieses System ausreichend genügend Informationen der Verkehrsteilnehmer hat, um die richtige Warnung an das richtige UAV zu senden. Warnungen sind in allen drei Flugphasen möglich.

- Pre-Flight
- In-Flight
- Post-Flight

Für den Fall eines Verlustes einer Drohne - in welcher Form dies geschehen möge - muss eine Alarmierung rausgegeben werden. Erst durch die Inkenntnisnahme eines derartigen Ereignissen können Notfall-Services und SAR-Services agieren. Eine besondere Bedeutung kommt dem bei speziellen PLs zu, wie einem Passagiertransport oder anspruchsvollem Cargo beziehungsweise Gefahrgut. Aus diesem Grund sollte jedes UAV mit einem Emergency Location Transmitter (ELT)

ausgestattet werden.

A.11.3 Risk and Insurance

Für jeden Flug werden Risikoanalysen durchgeführt. Anhand von Flugplanungen, Wettervorhersagen und MTOM des UAVs wird eine Mission in Risikoklassen eingeteilt. Auf dieser Grundlage entscheidet der Drone Operator (DO), ob er seine Mission ausführen will. Alternativ kann er eine Neuplanung seiner Route vornehmen, um das Risiko eines Schadensfalls auf seiner Mission zu reduzieren, um so Versicherungsbeiträge zu senken. Berechnete Risiken werden dem DO direkt auf seinem Clienten angezeigt.

A.11.4 Special Authorization and Exemptions

In selteneren Fällen werden Ausnahmen von den üblichen Regularien gemacht. Speziell Umstände können Katastrophen oder experimentelle Forschungsflüge sein. Aufgrund besonderer Gründe kann eine derartige Operation autorisiert werden. Die Case-by-Case Entscheidung beruht auf menschlichen Bewertungen von Situationen und den daraus resultierenden Entscheidungen. Falls eine Genehmigung ausgesprochen wird, kann ein Certificats of Authorization (COA) an den DO ausgehändigt werden.



B Relationen der Beeinflussungsmatrizen

B.1 System PP

Nr	Notation
01	PI_{aero}
02	PI_{geo}
03	PI_{wx}
04	PI_{UAV}
05	PI_{DO}
06	PI_{com}
07	PI_{nav}
08	PI_{surv}
09	PI_{plan}
10	PI_{sepa}
11	PI_{konf}
12	PI_{post}
13	PI_{emerg}
14	PI_{note}
15	PI_{law}
16	PI_{risk}
17	PI_{exemp}

Tabelle B.1.: Notation aller 17 PIs

Relation	Wert	Erklärung
R_{0101}	-	-
R_{0102}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{0103}	1	Die Luftraumstruktur verweist auf den geographischen Raum, in dem eine Wettervorhersage notwendig ist
R_{0104}	2	Die UAVs benötigen die entsprechenden technischen Ausrüstungen, die vom Luftraum gefordert sind
R_{0105}	1	Anhand der Luftraumstruktur plant der DO seine Operationen
R_{0106}	1	Der Luftraum ist Grundlage für RLOS/BRLOS Kommunikation
R_{0107}	2	Der Luftraum ist Grundlage für VLOS/BVLOS Navigation
R_{0108}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{0109}	3	Planungen von Operationen erfolgen in Anbetracht des Luftraumes
R_{0110}	2	Separation aller Verkehrsteilnehmer erfolgt im Luftraum
R_{0111}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{0112}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{0113}	2	Notfallpläne werden in Anbetracht der Lufträume erstellt
R_{0114}	1	Änderungen in der Luftraumstruktur werden dem U-Space mitgeteilt
R_{0115}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{0116}	3	Starts und Landungen sind die risikoreichsten Phasen eines Fluges
R_{0117}	2	Anhand der Luftraumstruktur kann eine Sonderbehandlung erfolgen

Tabelle B.2.: Relationen ausgehend von PI_{aero} auf PIs

Relation	Wert	Erklärung
R_{0201}	2	Das geographische Umfeld begrenzt den Luftraum
R_{0202}	-	-
R_{0203}	2	Die Geographie hat Einfluss auf die Vorhersagegenauigkeit
R_{0204}	1	In spezielle Umgebung müssen die UAV Spezifikationen angepasst werden
R_{0205}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{0206}	2	Oberfläche und Hindernisse im Umfeld der Einsatzumgebung beeinträchtigen die Kommunikationsmöglichkeiten
R_{0207}	1	Geographische Objekte beeinflussen Navigationsmöglichkeiten leicht
R_{0208}	0	Es besteht kein Informationseinfluss
R_{0209}	2	Bei der Planung von Operationen werden geographisch gefährliche Bereiche vermieden
R_{0210}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{0211}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{0212}	1	Terrain und Route werden zur Vollständigkeit am Ende einer Mission mit aufgezeichnet
R_{0213}	3	Insbesondere Notfalllandungen werden vom geographischen Umfeld stark limitiert
R_{0214}	1	Änderungen im Terrain werden dem U-Space über Mitteilungen berichtet
R_{0215}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{0216}	2	Bei der Missionsgestaltung beeinflusst das Umfeld die Risikoanalyse
R_{0217}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss

Tabelle B.3.: Relationen ausgehend von PI_{geo} auf PIs

Relation	Wert	Erklärung
R_{0301}	2	Lufträume können aufgrund von Wettervorhersagen gesperrt oder freigegeben werden
R_{0302}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{0303}	-	-
R_{0304}	1	Die UAV Leistung muss den meteorologischen Bedingungen entsprechen
R_{0305}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{0306}	1	Wettereinflüsse können in seltenen Fällen die Kommunikation beeinträchtigen
R_{0307}	1	Wettereinflüsse können in seltenen Fällen die Navigation beeinträchtigen
R_{0308}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{0309}	3	Eine Mission wird durch Wetterdaten stark beeinträchtigt, bis hin zum Abbruch
R_{0310}	3	Eine Separation ist aufgrund der aktuellen Wetterlage nicht immer möglich
R_{0311}	2	Meteorologische Störungen beeinträchtigen die Einhaltung der Staffelung
R_{0312}	1	Wetterdaten werden zur Vollständigkeit am Ende einer Mission mit aufgezeichnet
R_{0313}	1	Notfallhandlungen werden abhängig von Wetterdaten geplant und ausgeführt
R_{0314}	3	Meteorologische Benachrichtigungen sind mit die wichtigsten Mitteilungen
R_{0315}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{0316}	1	Wettereinflüsse spielen mit in die Risikoanalyse rein
R_{0317}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss

Tabelle B.4.: Relationen ausgehend von PI_{wx} auf Pls

Relation	Wert	Erklärung
R_{0401}	1	In geringem Maße wird die Luftraumstruktur den UAV Spezifikationen angepasst
R_{0402}	2	UAV Sensoren nehmen Geo-Daten auf, die weiter verarbeitet werden
R_{0403}	1	UAV Sensoren nehmen Wetterdaten auf, die weiter verarbeitet werden
R_{0404}	-	-
R_{0405}	2	Der Grad der Automatisierung der UAVs charakterisiert die DO
R_{0406}	3	Die technische Ausrüstung des UAV ermöglicht bessere Kommunikation
R_{0407}	3	Die technische Ausrüstung des UAV ermöglicht bessere Navigation
R_{0408}	2	Sensorik für DAA und C2 wird vom UAV beeinflusst
R_{0409}	3	Leistungsparameter des UAV ermöglichen oder verbieten eine spezielle Mission
R_{0410}	1	Agilität und Stabilität stellen den gewünschten Separationsabstand wieder her
R_{0411}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{0412}	1	Leistungsparameter des UAV werden zur Vollständigkeit am Ende einer Mission mit aufgezeichnet
R_{0413}	2	Je nach UAV Spezifikation können unterschiedliche Notfallhandlungen durchgeführt werden
R_{0414}	2	Außerordentliche Zustände des UAV werden berichtet
R_{0415}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{0416}	1	Leistungsparameter werden bei Risikoanalysen berücksichtigt
R_{0417}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss

Tabelle B.5.: Relationen ausgehend von PI_{UAV} auf Pls

Relation	Wert	Erklärung
R_{0501}	2	Operatoren können Mitspracherecht auf die Luftraumgestaltung und Drohnenhäfen haben
R_{0502}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{0503}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{0504}	3	DO sind die Betreiber der UAVs
R_{0505}	-	-
R_{0506}	1	Der DO ist für den einwandfreien Zustand seiner Flotte einschließlich Ausrüstung verantwortlich
R_{0507}	1	Der DO ist für den einwandfreien Zustand seiner Flotte einschließlich Ausrüstung verantwortlich
R_{0508}	2	Der DO ist für den einwandfreien Zustand seiner Flotte einschließlich Ausrüstung verantwortlich
R_{0509}	2	ACL, Use Case und Flottengröße des DOs werden bei der Missionsplanung berücksichtigt
R_{0510}	1	Separationen hängen teilweise vom ACL des DO und seiner Flotte ab
R_{0511}	1	Das Missionsziel kann Einfluss auf die Einhaltung der Staffelung haben
R_{0512}	1	Charakteristika des DO werden zur Vollständigkeit am Ende einer Mission mit aufgezeichnet
R_{0513}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{0514}	1	Lizenzen und Gesetzesverstöße des DO werden in Mitteilungen festgehalten
R_{0515}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{0516}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{0517}	2	Spezielle Missionen eines DOs werden gesondert behandelt

Tabelle B.6.: Erklärung der Relationen ausgehend von PI_{DO}

Relation	Wert	Erklärung
R_{0601}	2	Anhand der Möglichkeiten von RLOS/BRLOS werden Lufträume gestaltet
R_{0602}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{0603}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{0604}	1	Bestimmte Kommunikationsschnittstellen verlangen nach einer technischen Ausrüstung der UAVs
R_{0605}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{0606}	-	-
R_{0607}	1	Navigationsziele werden zwischen UAV und U-Space kommuniziert.
R_{0608}	2	Erfasste Verkehrsteilnehmer werden an den U-Space kommuniziert
R_{0609}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{0610}	2	Steuerbefehle werden an das UAV durch die Kommunikationsschnittstelle beeinflusst
R_{0611}	3	Falls keine A/G Kommunikation durchgehend verfügbar ist, kann eine stetige Staffelung der UAV nicht garantiert werden
R_{0612}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{0613}	1	Notfallsituation werden an den U-Space kommuniziert
R_{0614}	1	Mitteilungen werden über die Kommunikationsschnittstelle übermittelt
R_{0615}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{0616}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{0617}	1	Außerordentliche Verkehrsteilnehmer werden vom U-Space kommuniziert

Tabelle B.7.: Relationen ausgehend von PI_{com} auf PIs

Relation	Wert	Erklärung
R_{0701}	1	Navigationsmöglichkeiten können die Luftraumstruktur beeinflussen
R_{0702}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{0703}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{0704}	1	Navigationsmöglichkeiten korrelieren mit der technischen Ausrüstung der UAVs
R_{0705}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{0706}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{0707}	-	-
R_{0708}	1	Präzise und akkurate Navigation erleichtert die Überwachung des Verkehrs
R_{0709}	2	Präzise und akkurate Navigation ermöglicht einen dichteren Verkehr
R_{0710}	3	UAVs bewegen sich mit weniger Unsicherheit in der Positionsbestimmung
R_{0711}	2	Falls eine präzise Navigation nicht möglich ist, kann eine stetige Staffelung der UAV nicht garantiert werden
R_{0712}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{0713}	1	Präzise und akkurate Navigation ermöglicht sichere Rückführung in einen stabilen Zustand
R_{0714}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{0715}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{0716}	1	Die Zuverlässigkeit der Navigationssysteme beeinflusst das Risikopotential
R_{0717}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss

Tabelle B.8.: Relationen ausgehend von PI_{nav} auf Pls

Relation	Wert	Erklärung
R_{0801}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{0802}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{0803}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{0804}	1	Vorgaben und Voraussetzungen für V2I und V2V werden vom UAV erfüllt
R_{0805}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{0806}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{0807}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{0808}	-	-
R_{0809}	2	Aufgrund erhöhten Verkehrsaufkommen müssen Flug, Mission oder Operation umgeplant werden
R_{0810}	3	Überwachungsdienste kontrollieren durchgehend den aktuell Verkehr
R_{0811}	3	Anhand der Verkehrsüberwachung wird überprüft, ob die Verkehrsteilnehmer ihre Routen und Separationsminima einhalten
R_{0812}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{0813}	2	Notfallpläne entstehen unter Berücksichtigung weiterer Verkehrsteilnehmer
R_{0814}	2	Außerordentliche Situationen im Verkehr werden gemeldet
R_{0815}	2	Durch die Überwachung wird die Einhaltung von Gesetzen kontrolliert
R_{0816}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{0817}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss

Tabelle B.9.: Relationen ausgehend von PI_{surv} auf Pls

Relation	Wert	Erklärung
R_{0901}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{0902}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{0903}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{0904}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{0905}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{0906}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{0907}	2	Missionen und Flug können unter Berücksichtigung von Navigationsmöglichkeiten geplant werden
R_{0908}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{0909}	-	-
R_{0910}	2	Missionsgestalt und Flugroute beeinflussen das Verkehrsaufkommen und die Separation im Luftraum
R_{0911}	1	Durch vorausschauende Flugroutenplanung wird die Staffelung beeinflusst
R_{0912}	1	Mission und Flugroute werden zur Vollständigkeit am Ende einer Mission mit aufgezeichnet
R_{0913}	2	Für die geplante Flugroute werden Notfallsituationen vorausgeplant
R_{0914}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{0915}	1	Mögliche Planungen von Mission und Flug können Gesetzesänderungen bewirken
R_{0916}	2	Durch vorausschauende Flugroutenplanung wird das Risikopotential gesenkt
R_{0917}	2	Vor Antritt des Fluges wird eine spezielle Autorisierung genehmigt oder abgelehnt

Tabelle B.10.: Relationen ausgehend von PI_{plan} auf PIs

Relation	Wert	Erklärung
R_{1001}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1002}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1003}	1	Abhängig von den Separationsminima müssen Wetterklassen evaluiert werden
R_{1004}	2	Die geforderten Separationsminima müssen vom UAV umsetzbar sein
R_{1005}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1006}	3	Das erhöhte Verkehrsaufkommen beeinträchtigt Signalinterferenzen
R_{1007}	2	Das erhöhte Verkehrsaufkommen beeinflusst Navigationsmöglichkeiten
R_{1008}	1	Durch ein erhöhtes Verkehrsaufkommen kontrollieren sich die Verkehrsteilnehmer gegenseitig
R_{1009}	2	Zuvor zu hohe Verkehrsdichten werden in zukünftigen Flugplanungen vermieden
R_{1010}	-	-
R_{1011}	1	Es wird überprüft, ob die Staffelung der UAVs ausreichend groß ist
R_{1012}	1	Staffelungen werden zur Vollständigkeit am Ende einer Mission mit aufgezeichnet
R_{1013}	1	Hohes Verkehrsaufkommen beeinträchtigt Notfallhandlungen gering
R_{1014}	1	Außerordentliche Staffelungen werden gemeldet
R_{1015}	3	Anhand der Separation wird die Einhaltung der Gesetze überprüft
R_{1016}	1	Die Komplexität des Luftraumes steigt mit der der Anzahl der Verkehrsteilnehmer
R_{1017}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss

Tabelle B.11.: Relationen ausgehend von PI_{sepa} auf PIs

Relation	Wert	Erklärung
R_{1101}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1102}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1103}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1104}	1	Forderungen der Luftraumnavigation werden an das UAV gestellt
R_{1105}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1106}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1107}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1108}	3	Damit die Konformität im Luftraum geprüft werden kann, müssen alle Verkehrsteilnehmer überwacht werden
R_{1109}	1	Die zuvor nicht eingehaltenen Luftraumvorgaben wirken auf zukünftige Missions- und Flugplanungen
R_{1110}	2	Falls die Luftraumvorgaben nicht eingehalten werden können, müssen neue Separationsminima erstellt werden
R_{1111}	-	-
R_{1112}	1	Nicht eingehaltene Staffelung wird zur Vollständigkeit am Ende einer Mission mit aufgezeichnet
R_{1113}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1114}	2	Nicht eingehaltene Staffellungen werden gemeldet
R_{1115}	3	Die Überwachung der Staffelung korreliert direkt mit dem Gesetzeskonformität
R_{1116}	1	Wiederholte Missachtung der Separationsminima erhöht das Risiko und die operative Unsicherheit des Verkehrs
R_{1117}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss

Tabelle B.12.: Relationen ausgehend von PI_{konf} auf PIs

Relation	Wert	Erklärung
R_{1201}	3	Der Luftraum wird anhand der Untersuchung von Aufzeichnungen evaluiert und optimiert
R_{1202}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1203}	3	Die Wetterkategorien werden anhand der Untersuchung der Aufzeichnungen evaluiert und optimiert
R_{1204}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1205}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1206}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1207}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1208}	1	Nachuntersuchungen von Aufzeichnungen können die zukünftige Verkehrsüberwachung beeinflussen
R_{1209}	2	Missionen und Flüge werden durch Aufzeichnungen evaluiert und optimiert
R_{1210}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1211}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1212}	-	-
R_{1213}	1	Aus den Aufzeichnungen werden Notfallhandlungen evaluiert und optimiert
R_{1214}	1	Aus den Aufzeichnungen werden Statistiken erstellt
R_{1215}	1	Nachträglich können aus den Aufzeichnungen Verstöße ermittelt werden
R_{1216}	3	Aus den Aufzeichnungen werden Verstöße
R_{1217}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss

Tabelle B.13.: Relationen ausgehend von PI_{post} auf PIs

Relation	Wert	Erklärung
R_{1301}	2	Lufträume werden unter Berücksichtigung von Notfallsituationen strukturiert
R_{1302}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1303}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1304}	2	Das UAV muss ausreichend Leistungsreserven und redundante Systeme verfügen, um in Notfällen weiterhin agieren zu können
R_{1305}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1306}	2	Falls ein Notfall eintritt, wird dieser vom UAV gemeldet
R_{1307}	1	Falls ein Notfall eintritt, muss das UAV sich weiterhin navigieren können
R_{1308}	1	Falls ein Notfall eintritt, wird der Zustand des UAV weiterhin überwacht
R_{1309}	2	Notfälle werden bei weiteren Planungen berücksichtigt
R_{1310}	1	Falls ein Notfall eintritt, wird im Luftraum dem UAV ein Korridor bereitgestellt
R_{1311}	2	In einer Notfallsituation dürfen weiterhin die anderen Verkehrsteilnehmer nicht ihre Staffelung verlieren
R_{1312}	1	Notfälle werden zur Vollständigkeit am Ende einer Mission mit aufgezeichnet
R_{1313}	-	-
R_{1314}	3	Jeder Notfall wird in einer Mitteilung festgehalten
R_{1315}	2	Notfallhandlungen laufen nach einem definiertem Prozess ab
R_{1316}	2	Notfälle stellen kritische Situationen im Luftraum dar
R_{1317}	3	Jeder Notfall ist eine spezielle Behandlung des UAVs

Tabelle B.14.: Relationen ausgehend von PI_{emerg} auf Pls

Relation	Wert	Erklärung
R_{1401}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1402}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1403}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1404}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1405}	2	Mitteilungen werden bei Bedarf direkt an die DO geleitet
R_{1406}	1	Mitteilungen werden auf diversen Kommunikationswegen verbreitet
R_{1407}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1408}	2	Mitteilungen erhöhen das Situationsbewusstsein und unterstützen die Überwachung
R_{1409}	1	Gegebenenfalls müssen Mission und Flug umgeplant werden
R_{1410}	2	Mitteilungen können Einfluss auf die Luftraumstruktur und den Verkehr haben
R_{1411}	1	Durch Mitteilungen kann belegt werden, ob ein Aktion im Luftraum notwendig oder unumgänglich ist
R_{1412}	2	Mitteilungen werden zur Vollständigkeit am Ende einer Mission mit aufgezeichnet
R_{1413}	2	Mitteilungen können die Notfallplanungen beeinflussen
R_{1414}	-	-
R_{1415}	1	Mitteilungen unterstützen die Gesetzeskonformität
R_{1416}	1	Sorgfältige Planung von Notfallhandlungen senken das Risiko
R_{1417}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss

Tabelle B.15.: Relationen ausgehend von PI_{note} auf Pls

Relation	Wert	Erklärung
R_{1501}	1	Die Luftraumstruktur wird an die Gesetze angepasst
R_{1502}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1503}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1504}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1505}	3	DO sind die Verantwortlichen, falls ein Gesetz verstoßen wird
R_{1506}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1507}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1508}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1509}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1510}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1511}	2	In den Gesetzen wird festgehalten, welche Staffellungen der UAV einzuhalten ist
R_{1512}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1513}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1514}	2	Gesetzesverstöße oder -änderungen werden dem U-Space mitgeteilt
R_{1515}	-	-
R_{1516}	1	Gesetzesvorgaben können eine Risikoanalyse beeinträchtigen
R_{1517}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss

Tabelle B.16.: Relationen ausgehend von PI_{law} auf Pls

Relation	Wert	Erklärung
R_{1601}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1602}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1603}	1	Auf der Ausrüstung der UAVs basierende Risikoanalysen beeinflussen die Wetterkategorisierung leicht
R_{1604}	1	Aufgrund von Unsicherheiten in einer Mission müssen UAVs eine Leistungsreserve bereitstellen
R_{1605}	3	Anhand der Risikobeurteilung entscheiden DO über ihre Operationen
R_{1606}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1607}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1608}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1609}	1	Jede Mission und Flugplanung werden in Risikoklassen eingeteilt
R_{1610}	2	Entscheidungen im Luftraum werden unter der Berücksichtigung einer Risikoanalyse beschlossen
R_{1611}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1612}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1613}	2	Sichere Notfallhandlungen sind die am wenigsten risikobehafteten Entscheidungen
R_{1614}	1	Hoch riskante Alternativen werden durch Mitteilungen gekennzeichnet
R_{1615}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1616}	-	-
R_{1617}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss

Tabelle B.17.: Relationen ausgehend von PI_{risk} auf Pls

Relation	Wert	Erklärung
R_{1701}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1702}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1703}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1704}	1	Spezielle Missionen unter Sonderbehandlung erfolgen meist durch besondere UAV-Spezifikationen
R_{1705}	2	Der DO erhält ein COA zur Durchführung seiner speziellen Mission
R_{1706}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1707}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1708}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1709}	2	Spezielle Mission werden in der Missions- und Flugplanung berücksichtigt
R_{1710}	1	Spezielle Autorisierungen beeinflussen die Separation im Luftraum
R_{1711}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1712}	1	COA und zugehöriger DO werden zur Vollständigkeit am Ende einer Mission mit aufgezeichnet
R_{1713}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1714}	1	Spezielle Autorisierungen werden gekennzeichnet
R_{1715}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1716}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1717}	-	-

Tabelle B.18.: Relationen ausgehend von PI_{exemp} auf PIs

B.2 System KK

Nr	Notation
01	KPI_{safe}
02	KPI_{auto}
03	KPI_{scale}
04	KPI_{int}
05	KPI_{sec}

Tabelle B.19.: Notation der fünf KPIs

Relation	Wert	Erklärung
<i>R</i> ₀₁₀₁	-	-
<i>R</i> ₀₁₀₂	1	Änderungen und Optimierungen werden im System vorgenommen, wenn der bisherige Verkehr sicher abläuft
<i>R</i> ₀₁₀₃	3	Erste wenn Operationen im U-Space sicher ablaufen, kann das Verkehrsaufkommen erhöht werden
<i>R</i> ₀₁₀₄	2	Eine Integration von verschiedenen Nutzern und DO wird durch sichere Missionsausführungen ermöglicht
<i>R</i> ₀₁₀₅	1	Sichere Missionsausführungen erleichtern die Identifizierung äußerer Einwirkungen auf das System
<i>R</i> ₀₂₀₁	3	Durch die Automatisierung der UAVs entfällt der Human Factor
<i>R</i> ₀₂₀₂	-	-
<i>R</i> ₀₂₀₃	3	Eine Automatisierung erhöht die Skalierbarkeit deutlich
<i>R</i> ₀₂₀₄	0	Die Automatisierung ermöglicht DO, eine größere Flotte zu betreiben
<i>R</i> ₀₂₀₅	0	Automatisierte Abläufe lassen sich besser kontrollieren und nachvollziehen als humane Entscheidungen
<i>R</i> ₀₃₀₁	1	Bewährte hoch-skalierte Systeme funktionieren ebenso bei geringeren Verkehrsaufkommen
<i>R</i> ₀₃₀₂	1	Skalierbare und flexible Effekte im System lassen sich automatisieren
<i>R</i> ₀₃₀₃	-	-
<i>R</i> ₀₃₀₄	2	Hochskalierbare Systeme erlauben mehr Nutzer und DO im U-Space
<i>R</i> ₀₃₀₅	2	Durch eine komplexere Systemumgebung bei höheren Skalen steigen die Anforderungen an die Sicherheit
<i>R</i> ₀₄₀₁	2	Alle Nutzer sind U-Space sind registriert und angemeldet, wodurch sich die innere Sicherheit erhöht
<i>R</i> ₀₄₀₂	2	Die Integration von diversen DOs erzwingt eine erhöhte Automatisierung
<i>R</i> ₀₄₀₃	2	Typ der DOs und deren Missionsgestalt beeinflussen die Skalierbarkeit
<i>R</i> ₀₄₀₄	-	-
<i>R</i> ₀₄₀₅	1	Jeder DO erhält Zertifikate und Berechtigungen, um im U-Space zu operieren
<i>R</i> ₀₅₀₁	1	Die innere Sicherheit wird optimiert, wenn das System sicher gegen äußere Störungen ist
<i>R</i> ₀₅₀₂	1	Robuste Systeme nach außen ermöglichen eine Automatisierung leicht
<i>R</i> ₀₅₀₃	1	Robuste Systeme nach außen erhöhen die Skalierbarkeit leicht
<i>R</i> ₀₅₀₄	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
<i>R</i> ₀₅₀₅	-	-

Tabelle B.20.: Relationen ausgehend von KPIs auf KPIs

B.3 System PK

Relation	Wert	Erklärung
R_{0101}	1	Durch die Gestaltung des Luftraumes wird leichter Einfluss auf die Sicherheit der Operationen genommen
R_{0102}	1	Zeitlich unabhängige Lufträume erleichtern die Umsetzung von automatisierten Abläufen
R_{0103}	2	Erst durch entsprechend große Lufträume können mehr Verkehrsteilnehmer im Luftraum integriert werden
R_{0104}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{0105}	2	Die Gestaltung des Luftraumes beeinflusst den Datenschutz der Privatsphäre

Tabelle B.21.: Relationen ausgehend von PI_{aero} auf KPIs

Relation	Wert	Erklärung
R_{0201}	1	Geographische Hindernisse beeinträchtigen die operationelle Sicherheit
R_{0202}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{0203}	1	Äußere Einflüsse der Umwelt können die Skalierbarkeit beeinträchtigen
R_{0204}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{0205}	3	Gezielt falsche geographische Informationen stellen einen Missbrauch des Systems dar

Tabelle B.22.: Relationen ausgehend von PI_{geo} auf KPIs

Relation	Wert	Erklärung
R_{0301}	2	Präzise Wetterprognosen und Wetterkategorisierungen erhöhen die operationelle Sicherheit
R_{0302}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{0303}	2	Durch präzise Wetterprognosen kann die Verkehrsdichte erhöht werden
R_{0304}	2	Durch Beeinträchtigungen durch das Wetter kann der U-Space temporär für Nutzer gesperrt sein
R_{0305}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss

Tabelle B.23.: Relationen ausgehend von PI_{wx} auf KPIs

Relation	Wert	Erklärung
R_{0401}	2	Statische und dynamische Stabilität der UAVs beeinflussen die operationelle Sicherheit
R_{0402}	2	Die technische Ausstattung der UAVs ermöglicht höher Automatisierungsgrade
R_{0403}	3	Die technische Ausstattung der UAVs ermöglicht ein höheres Verkehrsaufkommen
R_{0404}	1	Ein Anwender im System operiert mindestens ein UAS
R_{0405}	1	Tätigkeiten und Missionen eines Nutzer haben Einfluss auf die Privatsphäre

Tabelle B.24.: Relationen ausgehend von PI_{UAV} auf KPIs

Relation	Wert	Erklärung
R_{0501}	1	Der DO operiert im Luftraum mit einer Flotte an UAVs, für dessen Zustand er verantwortlich ist
R_{0502}	3	Das ACL der DO nimmt starken Einfluss auf die Automatisierung im U-Space
R_{0503}	3	Missionsgestalt und technische Ausstattung der UAVs ermöglichen ein erhöhtes Verkehrsaufkommen
R_{0504}	2	DO greifen über eine Schnittstelle auf den U-Space zu
R_{0505}	1	Der DO sammelt Daten seiner Mission und kann diese verwerten

Tabelle B.25.: Relationen ausgehend von PI_{DO} auf KPIs

Relation	Wert	Erklärung
R_{0601}	2	Die Kommunikationsschnittstellen verbreiten die Informationen im System und fördern die operationelle Sicherheit
R_{0602}	2	Für eine hohe Automatisierung müssen die UAVs untereinander kommunizieren
R_{0603}	1	Dichteres Verkehrsaufkommen wird durch Kommunikationsschnittstellen beeinflusst
R_{0604}	2	Anwender nutzen Kommunikationsschnittstellen für den Austausch von Informationen mit dem U-Space
R_{0605}	1	Informationen werden im U-Space nur dann geteilt, wenn sie für den Empfänger notwendig sind

Tabelle B.26.: Relationen ausgehend von PI_{com} auf KPIs

Relation	Wert	Erklärung
R_{0701}	2	Für die Sicherheit müssen die UAVs stets ihre Position angeben können
R_{0702}	3	Ein hoher Automatisierungsgrad wird erreicht, wenn die UAVs eine gute Navigation verfügen
R_{0703}	3	Für die Skalierbarkeit müssen die UAVs stets ihre Position angeben können
R_{0704}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{0705}	1	Für die private Sicherheit weiß ein Nutzer über den Aufenthaltsort seiner AVs Bescheid

Tabelle B.27.: Relationen ausgehend von PI_{nav} auf KPIs

Relation	Wert	Erklärung
R_{0801}	3	Die Überwachung aller UAVs im Luftraum erhöht die operationelle Sicherheit stark
R_{0802}	1	Die Automatisierung wird durch die Überwachung schwach beeinflusst
R_{0803}	3	Durch die Überwachung aller UAVs kann die Verkehrsdichte erhöht werden
R_{0804}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{0805}	2	Durch die Überwachung werden nicht autorisierte UAVs und Missionen entdeckt

Tabelle B.28.: Relationen ausgehend von PI_{surv} auf KPIs

Relation	Wert	Erklärung
R_{0901}	2	Durch die Missions- und Flugplanung wird die operationelle Sicherheit beeinflusst
R_{0902}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{0903}	2	Verkehrsplanungen nehmen direkt Einfluss auf die Verkehrsdichte
R_{0904}	1	Missions- und Flugplanungen werden mit dem DO und weiteren Stakeholdern geteilt
R_{0905}	1	Missionen und Flüge werden unter Berücksichtigung von Aspekten der Privatsphäre geplant

Tabelle B.29.: Relationen ausgehend von PI_{plan} auf KPIs

Relation	Wert	Erklärung
R_{1001}	3	Alle In-Flight Aktivitäten nehmen unmittelbar Einfluss auf die operationelle Sicherheit
R_{1002}	1	Durch die Automatisierung der UAVs wird eine Automatisierung weitere Operationen ermöglicht
R_{1003}	3	Die Separation im Luftraum nimmt unmittelbar Einfluss auf die Verkehrsdichte
R_{1004}	1	Das Verkehrsstaffelung wird über den U-Space an die Anwender übermittelt
R_{1005}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss

Tabelle B.30.: Relationen ausgehend von PI_{sepa} auf KPIs

Relation	Wert	Erklärung
R_{1101}	2	Die Einhaltung von Separationen im Luftraum erhöht die Sicherheit
R_{1102}	3	Bei Einhaltung Vorgaben der Separation können in Etappen Abläufe automatisiert werden
R_{1103}	2	Erst wenn die aktuelle Verkehrssituation beherrschbar ist, kann skaliert werden
R_{1104}	1	Dem Nutzer wird mitgeteilt, ob seine Operationen konform der Separation ablaufen
R_{1105}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss

Tabelle B.31.: Relationen ausgehend von PI_{konf} auf KPIs

Relation	Wert	Erklärung
R_{1201}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1202}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1203}	3	Analysen anhand der Aufzeichnungen sind Grundlage für Skalierungen
R_{1204}	3	Aufzeichnungen werden DO und U-Space bereitgestellt
R_{1205}	1	Sensible Anwenderdaten werden in den Aufzeichnungen geschützt

Tabelle B.32.: Relationen ausgehend von PI_{post} auf KPIs

Relation	Wert	Erklärung
R_{1301}	3	Notfälle stellen besondere Situationen für die operationelle Sicherheit dar
R_{1302}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1303}	2	Durch die Beherrschung von Notfällen, kann das System skaliert werden
R_{1304}	3	Notfälle werden über definierte Kanäle im U-Space gemeldet
R_{1305}	2	Notfälle können den Schutz der Privatsphäre beeinträchtigen

Tabelle B.33.: Relationen ausgehend von PI_{emerg} auf KPIs

Relation	Wert	Erklärung
R_{1401}	2	Mitteilungen erhöhen das Situationsbewusstsein im U-Space
R_{1402}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1403}	1	Vollständiges Situationsbewusstsein durch Mitteilungen unterstützt die Skalierbarkeit
R_{1404}	3	Mitteilungen werden über Kommunikationsschnittstellen im U-Space geteilt
R_{1405}	1	Mitteilungen informieren die Nutzer über sicherheitskritische Anliegen

Tabelle B.34.: Relationen ausgehend von PI_{note} auf KPIs

Relation	Wert	Erklärung
R_{1501}	1	Gesetze werden entworfen, um die innere und äußere Sicherheit zu gewährleisten
R_{1502}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1503}	2	Verkehrsaufkommen werden durch Gesetze limitiert und begrenzt
R_{1504}	2	Gesetzesänderungen werden über die Kommunikationsschnittstelle an den U-Space berichtet
R_{1505}	3	Gesetze werden entworfen, um die innere und äußere Sicherheit zu gewährleisten

Tabelle B.35.: Relationen ausgehend von PI_{law} auf KPIs

Relation	Wert	Erklärung
R_{1601}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1602}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1603}	2	Höheres Verkehrsaufkommen wird in Risikoanalysen beurteilt
R_{1604}	2	Nutzer des U-Space werden über die Risikoanalysen unterrichtet
R_{1605}	3	Falls eine Aktivität zu risikoreich eingestuft wird, darf sie nicht ausgeführt werden

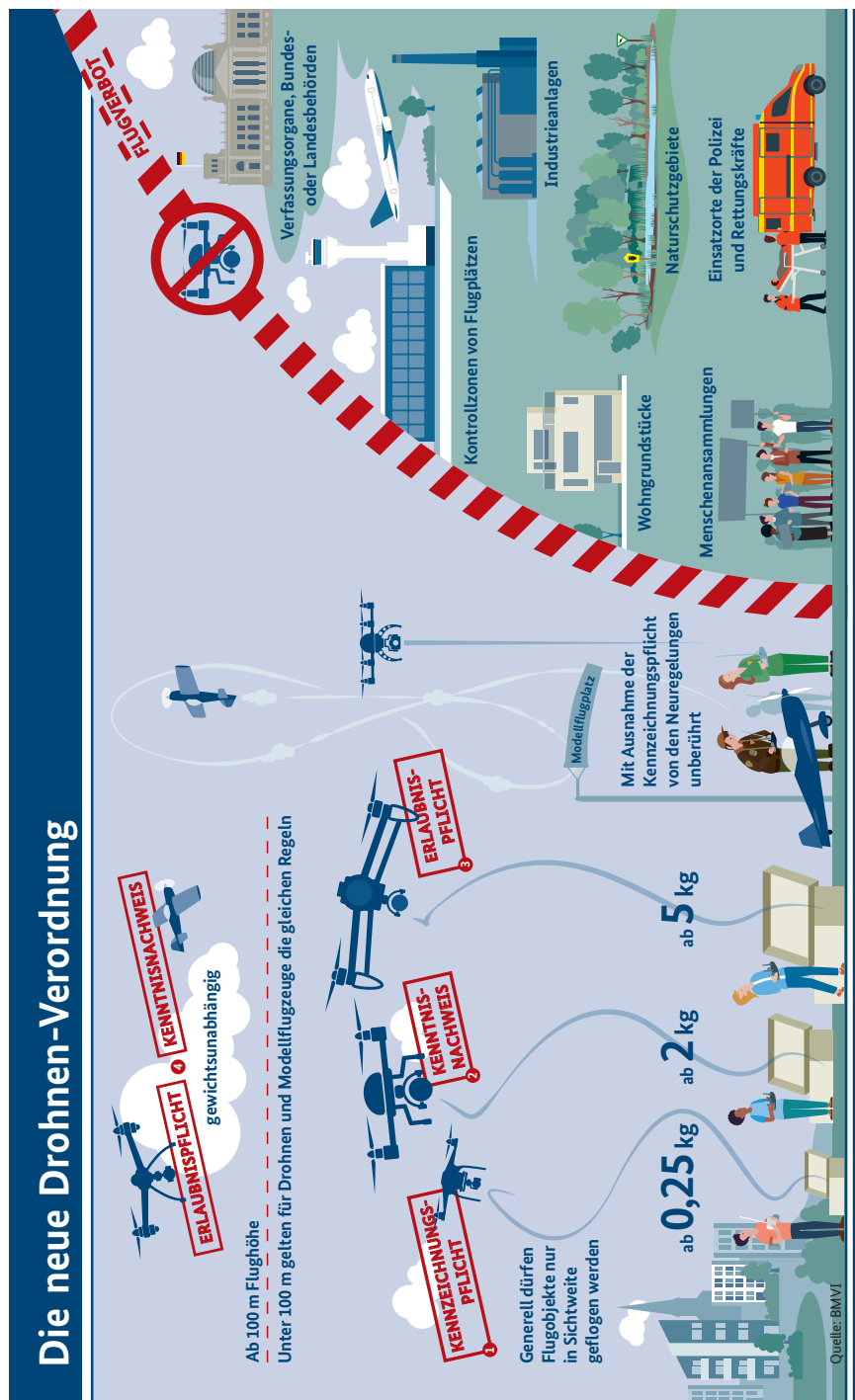
Tabelle B.36.: Relationen ausgehend von PI_{risk} auf KPIs

Relation	Wert	Erklärung
R_{1701}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1702}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1703}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss
R_{1704}	2	Spezielle Autorisierungen Integrieren weiter Anwender des U-Spaces
R_{1705}	0	Es besteht kein unmittelbarer Informationseinfluss

Tabelle B.37.: Relationen ausgehend von PI_{exemp} auf KPIs



C Die neue Drohnen Verordnung

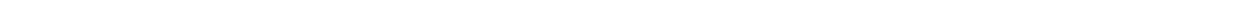


1 Kennzeichnungspflicht: Ab 0,25 kg muss eine Plakette mit Namen und Adresse des Eigentümers angebracht werden – auch auf Modellflugplätzen. Weitere Überflugverbotsbereiche siehe: www.bmvi.de/drohnen

2 Kennisnachweis: Ab 2,0 kg müssen besondere Kenntnisse nachgewiesen werden.

3 Erlaubnispflicht: Ab 5,0 kg wird eine spezielle Erlaubnis der Landesluftfahrtbehörde benötigt.

4 Ab 100 m: In dieser Höhe dürfen Drohnen nur fliegen, wenn eine behördliche Ausnahmeerlaubnis eingeholt wurde. Bei Modellflugzeugen müssen lediglich besondere Kenntnisse nachgewiesen werden.



D Luftraumstruktur und Sichtflugregeln

